DURGET Xavier
étudiant FI5, filière EBE, spécialité Energie
Tuteur : **Jean-Luc BESOMBES**

DECOUVERTE D'ENERGY PLUS ET DU METIER D'INGENIEUR EN ETUDE THERMIQUE :

Accueilli en stage ingénieur au sein du bureau d'étude :

HELIASOL
(Etude et Conseil en énergie renouvelable et thermique du bâtiment)

15 allée des Magnolias
69390 VOURLES
04 88 04 95 63

du 4 Avril au 26 Aout 2011

Sous la direction de **Franck JANIN**, ingénieur et gérant d'HELIASOL.

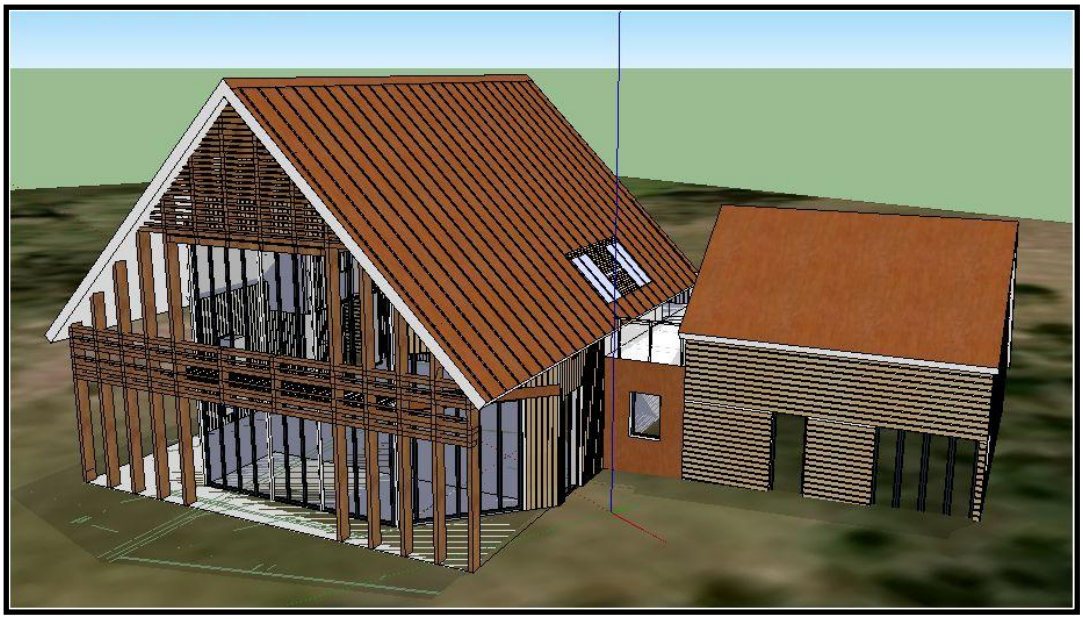
Remerciements :

Ce rapport tout entier a pour vocation de remercier l'équipe d'HELIASOL. En effet, tandis qu'un paragraphe de remerciement ne me permet que de les citer, ce rapport va me permettre de faire référence à tout ce que j'ai appris. Une foule de nouvelles connaissances que je n'aurais pas pu acquérir sans la profonde volonté de Franck JANIN, de Jean-Luc DELPONT et d'Eric AMANN de faire de ce stage une expérience enrichissante pour eux comme pour moi.

Merci donc à Jean-Luc DELPONT et Eric AMANN pour avoir pris le soin de répondre à mes nombreuses questions, pour avoir pris le temps de me former à l'utilisation de nouveaux logiciels et pour l'intérêt qu'ils ont porté aux résultats de mon travail.

Merci à Franck JANIN pour m'avoir accompagné au quotidien dans ma mission, pour avoir régulièrement pris le temps de m'aider à diriger mes recherches et ma réflexion, et pour m'avoir régulièrement offert l'occasion de m'instruire, de me former et de l'accompagner sur de nombreux projets dès lors que ceux-ci pouvait représenter un intérêt pour ma quête de culture et de savoir technique.

J'espère que ce rapport et ses annexes seront vous exposer le plus exhaustivement possible la part consciente de mes nouveaux acquis. Face à un tel flux de nouvelles données, il n'est pas toujours facile de tout bien rangé, organisé avant le recours à l'écriture.



Sommaire :

INTRODUCTION : 4

I) L'ENTREPRISE : 5

A) HELIASOL : 5
B) STRUCTURE D'UNE PETITE ENTREPRISE : 7
C) COMMUNICATION INTERNE : 8
D) OUTILS DE TRAVAIL : 9

II) MON TRAVAIL : 10

A) PRESENTATION DE LA MISSION : 10
B) EMPLOI DU TEMPS ET OPPORTUNITES D'APPRENTISSAGE : 10
C) ENERGY PLUS : 14
D) FICHES APPRENTISSAGES ET VISITES : 19

III) ACQUIS ET PROJET PERSONNEL : 27

A) LE PASSE : 27
B) LE PRESENT : 29
C) LE FUTUR : 30

CONCLUSION : 32

BIBLIOGRAPHIE : 33

ANNEXES : 34

EMPLOI DU TEMPS : 34

EXTRAITS DE NOTICE ENERGY PLUS : 39

FICHE APPRENTISSAGE : LE PASSIF : 45
FICHE APPRENTISSAGE : LES PONTS THERMIQUES 49
FICHE D'APPRENTISSAGE : ETANCHEITE A L'AIR DES BATIMENTS : 56
FICHE VISITE : CONCOURS POUR L'OBTENTION D'UN PROJET : 63
FICHE DECOUVERTE : CONSTRUIRE EN BOIS ET PAILLE : 71

Introduction :

Après avoir découvert il y a deux ans le domaine de l'éolien au sein de la Compagnie du Vent, j'ai choisi cette année de découvrir un autre secteur d'application de mes enseignements : la thermique du bâtiment. J'ai eu à l'issue de mes recherches l'opportunité d'intégrer pour 5 mois le bureau d'étude HELIASOL, un des rares encore aujourd'hui a avoir déjà dirigé la majeur partie de son activité vers les hautes performances thermiques de la construction passive.

A ce stade de ma formation, il m'a semblé crucial d'agrandir ma connaissance des différents métiers pour lesquels on m'a préparé pendant ces années d'études d'ingénieur en énergie renouvelable et en énergie du bâtiment. Ayant de plus envie de découvrir les pôles d'activités de ma région autour de ces thématiques, j'ai privilégié une recherche en Rhône Alpes. J'ai donc finalement trouvé un logement sur LYON afin d'y réaliser mes objectifs : "accroître mes connaissances en thermique du bâtiment par une mise en pratique", "découvrir les métiers et acteurs de la diminution des consommations énergétiques du secteur résidentiel" et "acquérir les compétences complémentaires à celles acquises dans le développement des énergies renouvelables lors de mon précédent stage".

Je vais donc dans ce rapport tenter de vous rapporter ce que j'ai pu découvrir à travers ma mission et les multiples opportunités de visites/formations qui m'ont été offertes autour de ce stage de 5ème année. Après avoir décrit l'entreprise et son activité, je consacrerai une part de ce rapport à la méthode de travail propre à la tache qui m'a été confié ainsi qu'à la rédaction de "fiches résumé" de mes apprentissages, lesquelles me permettront également de mettre sur papier la foule de nouvelles connaissances qui a assaillit mon cerveau durant ces 5 mois. Finalement je ferai un bilan de mon projet personnel à l'issue de ce stage.

Note : Dans ce rapport le logiciel Energy Plus sera parfois désigné par les deux lettres **EP**.

I) L'ENTREPRISE :

A) HELIASOL :

1) Présentation :

Rappelant par son nom les énergies renouvelables, éoliennes et solaires, le bureau d'étude HELIASOL œuvre à sortir la société de l'impasse énergétique dans laquelle elle s'engouffre de plus en plus profondément.

Composée de 3 membres : **Franck JANIN** (Gérant et Actionnaire), **Eric AMANN** (Employé), ayant tout deux suivi le master VERDEC à Polytech' Annecy Chambéry, **Jean-Luc DELPONT** (Employé), elle se présente comme une entreprise d'étude et conseils en énergie renouvelable et thermique du bâtiment. Chacun travaille principalement depuis chez lui mais l'entreprise dispose également de bureaux (bâtiment Gémini), qu'elle partage avec Quo Bâtis, afin de recevoir clients, représentants de produits, architectes, etc. et notamment afin d'accueillir des stagiaires.

On distinguera 3 secteurs d'activités principaux donnés ici par ordre décroissant d'importance :

-**Etude et Conseils :** HELIASOL intervient principalement dans l'accompagnement de particuliers dans leur démarche de construction ou de rénovation de bâtiments efficaces. Leur tâche va alors de la simple simulation thermique dynamique, à l'aide aux choix des matériaux et solutions constructives et s'accompagne parfois de l'établissement d'un dossier de certification en vue de l'obtention d'un label BBC ou du label Passiv'House. La maison passive demeure souvent l'objectif privilégié, conseillé au client, et constitue l'axe directeur du développement de l'entreprise. HELIASOL intervient également de la même façon sur des projets de bâtiments tertiaires et de bâtiments collectifs. S'ajoutent à cette activité majeure, toujours dans la thématique de l'étude et du conseil : simulations RT2005, études de choix d'énergie, diagnostics de performances énergétiques, études par caméra thermique, audits énergétique, études de faisabilité solaire, relevés de masque, etc.

-**Formation :** HELIASOL participe à la sensibilisation de la population et à la formation des acteurs du monde de la thermique via l'enseignement dans des écoles, l'intervention lors de conférences et prend par à des actions comme celles d'Oïkos (association qui propose Informations, Formations et Education à l'éco-construction).

-**Avis d'Expertise :** HELIASOL est parfois interrogé pour son avis par des assurances ou par des centres de recherches dès lors que le point de vue du thermicien s'impose nécessaire.

2) Histoire :

-**Juillet 2007 :** création d'HELIASOL par Franck JANIN.

-**Mars 2008 :** Eric AMANN rejoint Franck JANIN au sein d'HELIASOL.

-**Octobre 2009 :** Jean Luc DELPONT rejoint HELIASOL.

-**2009 :** Construction de la "Villa Verte" à La Chapelle en Auvergne, 1ère obtention d'un certificat passif pour HELIASOL.

-**2010 :** Création de la "Maison des ainés" à Montbruison en Rhône Alpes. 2ème certificat passif au tableau d'HELIASOL sur les 10 maisons passives alors certifiées en France.

3) Valeurs :

HELIASOL affiche sur son site web deux grands principes de bases :

-L'énergie la plus propre est celle que l'on ne consomme pas.
-On n'hérite pas la terre de nos ancêtres, on l'emprunte à nos enfants.

Ces deux principes sont au cœur du quotidien de l'entreprise. Son secteur d'activité s'étend principalement dans les 100 km autour de Lyon afin de **limiter les déplacements** dont l'impact environnemental est contraire aux principes de l'entreprise. La présence d'Eric, qui travaille depuis Chambéry a permis d'agrandir le champ d'action. Dans mes échanges avec l'équipe, ainsi que lorsque j'observais leurs rapports vis à vis des clients et collaborateurs, j'ai rapidement compris que l'idée de chacun est de se sentir acteur du développement durable, et ce au prix de nombreuses concessions. HELIASOL ne recherche pas le profit à tout prix et va même jusqu'à refuser des clients dès lors qu'il semble que ces derniers ne recherchent finalement pas l'efficacité énergétique ou ne porte aucun intérêt à l'impact environnemental de leur projet. Les échanges se font sans secrets, l'**honnêteté** est une discipline, les salaires importent peu dès lors que chacun a la possibilité de **travailler en accord avec ses propres valeurs**. HELIASOL ne démarche pas, elle se contente d'être présente lors des rassemblements des acteurs du bâtiment efficace et de faire correctement son travail, le bouche à oreille fait le reste et HELIASOL ne manque pas de travail.

4) Chiffres :

-**Capital** de 12000 euros

-**Projets passifs :**
2 certifiés
2 en cours de certification
12 en cours d'étude

(Seuls ces projets sont facilement quantifiables, les projets BBC, RT2005, et autres étant le pain de tous les jours et des projets souvent plus courts)

B) Structure d'une petite entreprise :

1) Gérance :

Tout au long de ces 5 mois, je n'ai eu de cesse d'être bluffé par la rigueur de l'organisation de Franck qui gère d'une main experte son entreprise. A l'issue de son Master VERDEC en 2007, Franck a d'ailleurs rédigé un rapport sur la "création d'une entreprise de conseil dans les énergies renouvelables et la thermique du bâtiment" qu'il a gracieusement mis à ma disposition. La lecture de ce rapport a été très instructive quant à la démarche de création d'entreprise. Je ne peux cependant ici m'amuser à résumer ce très long rapport et restreindrait ce paragraphe aux points de gestions que j'ai pu observer, qui interviennent donc après la création. L'entreprise s'est équipé d'un disque dur externe joignable via la connexion internet en achetant une licence pour Jungle Disk. Sur ce disque sont stockés l'ensemble des outils de gestion, je décris ici sommairement l'organisation de ce disque :

On trouve sur le J : les **outils d'administration** d'HELIASOL (note de frais, textes légaux, fiches de saisies des horaires de travail et des congés payés, les documents relatifs à la voiture de fonction et ceux relatifs à l'utilisation du bureau au Gémini (accès internet, imprimante, téléphone, adresse, emplacement du compteur EDF, etc.).

On trouve un dossier « **Pilotage** » consacrée à la comptabilité et aux facturations.

Dans un autre dossier, **certains outils sont dit « techniques »**, il s'agit alors de tableaux Excel réalisé pour faciliter le travail ou encore de notices consacrées à l'utilisation d'un logiciel pour tel ou tel aspect d'un projet, on trouvera des modèles de documents régulièrement utiles (relevé thermographie, relevé de masques) etc.

C'est aussi sur le disque J : que l'équipe effectue régulièrement des **backups** afin de sauver en lieu sûr son travail.

Enfin les **projets** sont stockés sur le J : dans un dossier différents selon son niveau d'avancement. Les **devis** ont leur dossier (notons qu'à ce stade, il n'est pas dit qu'ils aboutissent à un réel projet). Les projet en cours sont répertoriés avec un code PF+3 chiffres (ex PF321) et seront transférés dans un dossier « **archives** » une fois menés à bout.

2) Une petite entreprise :

Après avoir intégré une filiale du groupe GDF SUEZ pour mon précédent stage, j'ai intégré ici une entreprise d'une toute autre dimension. Il peut-être parfois difficile pour une petite entreprise de se faire une place sur un marché où elle peut parfois se retrouver "au milieu des grands". Tandis qu'une grande entreprise attire la clientèle à l'aide d'un grand nom, qu'elle dispose de fonds d'investissements importants qui lui permette de se tenir à jour par l'achat de nouveaux outils, qu'elle peut parfois se permettre de payer ses employés plus cher, une petite entreprise peut-être limité par son budget et éprouver des difficultés à se "tailler une part du gâteau".

Cependant le statut de "micro-entreprise" a lui aussi ses avantages qui sont autant de points qui ont poussé Franck à quitter son ancien travail en tant qu'ingénieur en informatique au sein d'une grande entreprise pour se reconvertir et devenir le capitaine de son propre navire. Tout d'abord lorsque l'on est trois à porter sur les flots un petit navire, tout le monde a son mot à dire quant au cap que celui-ci vise et **les objectifs ne sont pas masqués**, chacun sait pourquoi il pagaie. La barre est flexible et les changements de direction peuvent être brusque sans envoyer tout le monde par dessus bord.

Si je me permets de continuer avec cette métaphore bien pratique je dirais qu'HELIASOL a mis voile vers des objectifs ambitieux, armé d'une longue vue afin d'anticiper les remous dans des eaux encore peu fréquentées. Pour être plus clair, faire le choix de fixer la barre haute (qualité passive) permet d'appartenir à une espèce rare d'entreprises avant-gardistes qui ne souhaitent pas participer à des projets tout juste conformes à une réglementation thermique en constante évolution et devoir quelques années plus tard intervenir de nouveau sur des bâtiment devenus non conformes et qu'il faudrait alors rénover. Cependant, l'avenir de la filière est en conséquent également moins certain et la concurrence apparaît au même rythme que la réglementation sert la ceinture de la consommation énergétique.

3) Organisation du travail :

Chaque membre d'HELIASOL gère tant que possible ses projets de A à Z et demeure l'unique référent du client tout au long de l'étude. Ayant des compétences relativement équivalentes et des rôles égaux (vente, saisie de simulation, rédaction de rapport, etc.), la répartition des dossiers se fait sur des critères géographiques (Eric hérite des projets autour de Chambéry) et selon la charge de travail assumée par chacun à l'heure où la question se pose. Au fur et à mesure, chacun se créé ses clients, ses contacts, chacun se retrouve à travailler sur plusieurs projets avec le même maître d'œuvre, le même architecte. Franck gérant l'entreprise ainsi que ses boites mails et postales principales est bien sur le receveur de nouvelles demandes et répartit dans ces cas là les projets en accord avec chacun de ses deux employés.

C) Communication interne :

1) Communiquer en direct :

Dans une entreprise où chacun travaille la plupart du temps depuis chez lui, il est fondamental de pouvoir discuter en temps réel. **Skype** est l'outil parfait. Le programme permet à l'entreprise de **s'échanger par écrit** des informations quant à l'avancement d'un projet. Il permet à chacun d'avoir recours aux connaissances des autres lorsqu'il se retrouve dans une impasse et autorise même **l'envoi de fichier** de manière rapide et efficace. Au besoin, une **conversation téléphonique** est établit via Skype entre les employés et le "**partage d'écran**" est alors un très bon moyen pour discuter autour d'un schéma, d'un plan de bâtiment. J'ai moi même été formé à l'utilisation du logiciel Visual TTH via Skype en partage d'écran. Skype est également un outil de communication externe dès lors que l'on s'intéresse à ses fonctionnalités payantes. L'entreprise est équipé des forfaits nécessaires au renvoi des appels vers le téléphone portable en cas de déplacement, et peut appeler portables et fixes depuis l'ordinateur.

2) S'organiser, prévoir :

Outlook intervient comme gestionnaire d'informations personnelles que l'on peut rendre publiques au sein d'un groupe autorisé. En plus de ses fonctions liées au **courrier électronique**, Outlook propose la **gestion de calendriers**, à la fois pratique pour s'organiser soit même mais également pour connaître les disponibilités des autres employés dès lors que ces calendriers sont partagés. L'entreprise se sert également du logiciel pour **réserver un équipement** (voiture, caméra thermique, etc.). De plus chacun se créé une **liste de contact** et la rend accessible aux autres (au besoin Franck peut joindre un client de Jean Luc ou d'Eric).

3) Partager les fichiers :

L'entreprise s'est équipé d'un **disque dur externe** joignable via la connexion internet en achetant une licence pour **Jungle Disk**. Chacun stock donc l'intégralité de son travail à distance et le contenu est accessible à tous, les ordinateurs effectuent des backups réguliers permettant la mise à jour du disque dur externe par rapport aux disques C: respectifs. Ainsi dès lors qu'un fichier devrait changer de main, il est très facile pour chacun de récupérer l'ensemble du travail jusqu'à ce jour. Jungle est donc un moyen très efficace pour **mettre ses fichiers à l'abri et les échanger**.

J'ai également souvent travaillé depuis chez moi durant ce stage et donc été amené à manipuler régulièrement les outils de communication que je viens d'exposer.

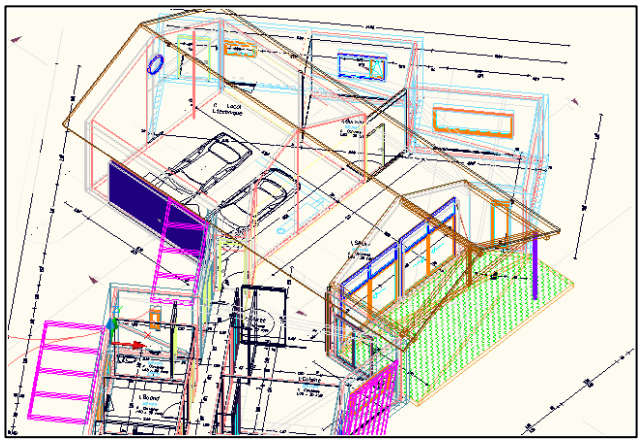
D) Outils de travail :

1) Logiciels :

Comme dans tout bureau d'étude, l'informatique est l'outil de travail. Les simulations thermiques sont réalisées sous **Pléiades/Comfie** (STD), et **PHPP** (statique) pour les maisons passives.

Les calculs de ponts thermiques sont effectués avec **THERM** qui permet le calcul par éléments finis. **Visual TTH** sert d'outil de certification pour les bâtiments BBC et RT2005. Un autre logiciel du groupe **Fisa-DPE** peut être utilisé pour les diagnostics de performances énergétiques. **DWG True View** est utilisé par l'ensemble de l'équipe pour la lecture de plans et maquettes 3 dimensions.

DWG True View :



2) Matériel de mesure :

Pour effectuer des diagnostics chez le client, notamment dans une démarche de rénovation, HELIASOL dispose d'une **caméra thermique**, d'un **débitmètre** pour les systèmes de ventilation et quelques gadgets bien pratique comme **le clinomètre** (pour mesurer les masques et leurs angles de vue) ou encore le **vitromètre** qui est très pratique pour étudier les vitrages multiples, renseignant l'utilisateur sur le nombre et l'épaisseur des vitrages ainsi que sur un éventuel traitement de l'un de ces vitrages.

II) Mon Travail :

Dès mon entretient avec Franck JANIN et Jean Luc DELPONT, ce stage a été présenté come un échange profitable tant à l'employeur qu'au stagiaire. Bien que ma présence ne soit réellement bénéfique à HELIASOL que lorsque je me consacre à ma mission, j'ai eu de nombreuses opportunités d'accompagner un membre de l'équipe en déplacement. Franck a dès le premier instant montré son souhait de faire de ce stage, une expérience la plus enrichissante possible.

A) Présentation de la mission :

1) Les limites de Pléiades :

HELIASOL se retrouve aujourd'hui limité dans son travail par les possibilités limités et certaines lacunes du logiciel Pléiades. Lui reprochant un **accès quasi impossible à la méthode de calcul** qu'il utilise, HELIASOL regrette par exemple la façon dont est considéré le **contact avec le sol**, les possibilités limitées de la **saisie de ventilation** (scénarii simples et non une réelle régulation). **Certains ombrages sont ignorés**. Les **matériaux rencontrés dans des maisons passives sont considérés comme des isolants** et donc supposés incapables de constituer un mur porteur. La **saisie des puits canadien** n'est pas non plus satisfaisante. Etc.

2) La solution : Energy Plus :

HELIASOL décide alors de faire le tour des autres alternatives disponibles à ce jour et s'attarde particulièrement sur un logiciel américain encore peu utilisé en France : **Energy Plus**. Ce logiciel semble rapidement très puissant et est de plus complètement **gratuit**, dès lors que l'on s'entoure **d'interfaces gratuites** pour la saisie des fichiers inputs et l'exploitation des fichiers output. Franck prend le temps de confirmer son impression selon laquelle ce logiciel peut répondre à ses besoins avant de décider de prendre un stagiaire dans le but d'**établir des notices efficaces** pour former son équipe.

3) Ma mission :

Ma mission principale au sein d'HELIASOL a donc consisté en la **découverte** de ce nouveau moteur de calcul thermique à travers différents essais, la **lecture de tutoriaux en anglais**, la **recherche d'interfaces efficaces** et la **rédaction au fur et à mesure d'un mode d'emploi**. Cet ensemble de notices devra être organisé afin de permettre de former rapidement les employés et dans le but de les accompagner étapes par étapes dans la saisie d'un projet.

B) Emploi du temps et opportunités d'apprentissage :

Cette partie a pour but de présenter une vue globale des différentes opportunités d'apprentissages, de formation, de visites, de rencontres qui ont parsemés mon stage. Je n'entrerais pas souvent dans le détail ici mais proposerai une version détaillée de mon emploi du temps en annexe. De plus un grand nombre des aspects évoqués ici seront à l'origine d'un vrai développement en annexe.

1) Emploi du temps et visites :

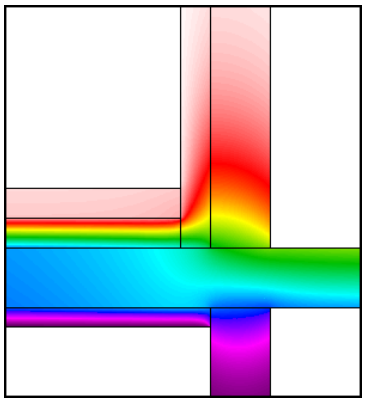
EMPLOI DU TEMPS				
Semaine	**Energy Plus**	**Description EP**	**Visites/Formations**	**Description Visite**
1	Installation et premier contacts	Installations des outils utiles au cours du stage, découverte des premiers tutoriaux	Utilisation de THERM	Identification et calcul de ponts thermiques
			Visite d'un représentant pour des ballons solaires	présentation de ballons solaires
2	Etude d'Open Studio	rédaction d'une notice "premiers pas"	Poursuite saisie des PT	
			formation à Oïkos	une journée de formation sur l'écoconstruction
3	Etude de l'IDF Editor	découverte de la logique de l'éditeur de modèle EP		
4	Première notice spécialisée	Sur la Simulation des menuiseries et de leurs occultations	Visites DPE avec Jean Luc	consultation factures dans des appartements : diagnostic de performances énergétique
5	poursuite des notices		Découverte de FISA DPE	saisie des DPE sur logiciel
6	Slab et Basement	étude des programmes auxiliaires de simulation su sol	Concours locaux d'activité Ste Catherine	cf. fiche consacrée en Annexe
7	1er cas pratique	saisie de la maison cube sous EP	réunion autour d'un projet de rénovation passif	détails dans l'emploi du temps détaillé en annexe
			formation à Visual TTH par Eric	saisie des bâtiments pour certification RT2005 et BBC
8	maison cube	saisie du problème sous Pléiades pour la comparaison	VTTH	poursuite des saisies
9	comparaison Maison Cube	établissement de tableaux Excel pour la comparaison	test d'étanchéité	cf. fiche consacrée en Annexe
			visite chez un client pour une maison passive	relevé de masques et d'orientation
10	conclusion Maison Cube	validation de la comparaison	saisie VTTH pour Jean Luc	je n'ai plus la licence : saisie sous Excel
11	organisation des notices	mise en place de références claires et d'un fichier central	réunion concours Ste Catherine	cf. fiche consacrée en Annexe
12	étude des systèmes HVAC	étude d'exemples EP avec systèmes de chauffage ventilation détaillés		

EMPLOI DU TEMPS				
Semaine	**Energy Plus**	**Description EP**	**Visites/Formations**	**Description Visite**
13	HVAC	suite	visites d'un représentant d'Okofen	présentation de chaudières bois basses puissances
14	dessin de schéma de système HVAC	pages A3 permettant de comprendre plus rapidement	5 à 7 de l'écoconstruction dur l'étanchéité à l'air	cf. fiche consacrée en Annexe
			bénévolat chantier paille	montage test d'un mur de paille sur le chantier de Franck
15	rédaction	notices sur les systèmes de chauffage/ventilation	visites représentants Alpha Innotec	présentation de pompes à chaleur
16	2ème cas pratique	système de ventilation de la Maison de Franck		
17	Etude de nouveaux systèmes	en vue de leur utilisation pour le 2ème cas pratique		
18	formation de l'équipe HELIASOL à EP	semaine à venir		

2) Formation à quelques logiciels :

A l'issu de ce stage, de nombreux outils informatiques iront compléter la modeste liste qui figure sur mon CV (du moins dès que ceux-ci seront pertinents pour le poste).

-Tout d'abord j'ai manipulé le logiciel gratuit **THERM** pour le calcul de ponts thermiques. Le dessin en lui même est quelque chose de simple mais l'exploitation qui va derrière est assez technique et ne peut -être détaillée ici sans rappeler des bases de la thermique du bâtiment concernant les ponts thermiques. Ce n'est pas l'idée pour l'instant, remettons ce développement à plus tard.



-J'ai ensuite utilisé **FISA DPE** pour la saisie des diagnostics de performances énergétiques des bâtiments. Il s'agissait pour moi, tandis que Jean Luc saisissait les **DPE sur facture**, de saisir avec la **méthode 3CL** les appartements pour lesquels un taux d'occupation trop irrégulier ou un manque de factures ne permettaient pas d'obtenir un DPE réellement représentatif des consommations du logement. La méthode 3CL n'est cependant pas celle donnée par la norme pour les logements collectifs. Le but de mon travail est donc de pouvoir fournir aux occupants de tels logements un document plus représentatif du classement de leur

logement même si celui-ci ne constituera pas un document officiel. JL constitue les documents officiels en spécifiant les problèmes propres à l'utilisation de la méthode sur facture pour ces cas particuliers, par des commentaires mis clairement en valeur.

Lors d'une saisie en méthode 3CL, il s'agit de faire le tour de l'enveloppe extérieur est d'identifier les différentes configurations "Composition/Ambiance adjacente" afin de donner la surface de contact dont les pertes seront estimées avec la valeur de U x b (rappel de thermique b correspond au coefficient réducteur due à un contact différent de celui avec l'extérieur : le U d'une paroi est corrigé si celle-ci est en contact avec un local non chauffé ou un couloir, de sorte de pouvoir utiliser le ΔT entre l'intérieur et l'extérieur dans le calcul des déperditions).

On renseigne les vitrages, ponts thermiques, systèmes de chauffage utilisés et on obtient la situation du logement sur l'échelle bien connue :

-J'ai participé à la saisie de bâtiments en vue de **vérifications RT2005 ou de certifications BBC** en utilisant le logiciel **VISUAL TTH**. L'objectif est proche de celui du logiciel Perrenoud utilisé à Polytech mais la saisie est "relativement plus pratique" du fait de l'aspect tableau compatible avec Excel. Cependant une saisie est un travail relativement long et minutieux. Mon intervention se bornait à la **saisie des métrés et des cellules**, i.e. aux étapes suivantes :

Identification des différentes compositions du bâtiment, des différents ponts thermiques à considérer (angles et liaisons planchers). HELIASOL prend le temps d'être précis et recalcule un certain nombre de ponts absents des types de ponts disponibles dans les catalogues THU. Il me faut donc être rigoureux, par exemple on ne fera pas l'amalgame entre une liaison mur/pignon et une liaison mur/façade dans une ossature à charpente.

Saisie des différentes fenêtres dont les propriétés vont varier selon le cadre, le type d'ouverture (oscillo-battant, fixe, battant), le type d'occultation. Cette saisie est simplifiée par un tableur Excel réalisé par Eric qui exécute la plus grosse partie des calculs et produit un tableau qui n'a plus qu'à être inséré dans VISUAL TTH.

Division du modèle en zones thermiques (on pourra distinguer, notamment pour un projet autre que le résidentiel, les salles d'eau ou autres pièces aux usages particuliers comme j'ai eu à le faire pour les vestiaires d'un gymnase), puis en pièces et enfin en cellules (on se contente d'une cellule par pièce).

Saisie des cellules, pour chaque cellules l'ordre dans lequel sont saisis les murs, ouvrants, ponts thermiques, etc. est important. On donne d'abord le mur, puis les ouvrants à soustraire de la surface renseignée pour ce mur, puis les ponts thermiques dus à cet ouvrant et enfin les ponts thermiques linéiques des liaisons avec les planchers. Tout ce travail nécessite

bien sûr de nombreuses mesures de métrés. Le travail sera d'autant plus rapide que les plans fournis seront de qualité.

-Afin de comparer mes simulations Energy Plus j'ai due manipuler à nouveau **Pléiades** et j'ai donc pu découvrir une nouvelle version d'**Alcyone** qui a bien été améliorée depuis les versions dont j'ai disposé à Polytech.

-Je me suis également souvent promené dans **PHPP** (qui prend la forme d'un titanesque tableau Excel), sans pour autant y saisir un problème, mais je suis capable d'exploiter les résultats et j'ai compris une part de l'organisation de ce logiciel.

C) Energy Plus :

1) Déroulement de la recherche et présentation rapide d'EP :

Face à un module de calcul à l'aspect plus que rudimentaire, une foule de formats de fichiers différents en entrée comme en sortie, différents interfaces proposés pour l'exploitation, des milliers de pages de tutorial en anglais, il est facile de se sentir perdu et même souvent effrayé. J'ai découvert que l'étude d'Energy Plus est un travail que j'avais largement sous-estimé et qui nécessite de **s'organiser méthodiquement**. Voici ici les instruments à ma disposition :

-Pour commencer : On distingue deux postes principaux de modification d'un projet Energy Plus :

Le **Plugin Open Studio**, installé sur **Google Sketchup** permet la saisie de la géométrie, et des conditions limites de notre bâtiment.

Tout le reste de la saisie se fait sur **IDF Editor** (scénario, création de compositions, systèmes de chauffages, etc.)

Tandis que certains tutoriaux concernant Open Studio, disponibles en vidéo sur internet, m'ont permis de comprendre quelques aspects du dessin des zones thermiques EP, les premiers pas dans l'IDF Editor ont été guidé par un tutorial relativement court (75 pages) : "**Getting Started With Energy Plus**". De plus, il s'agissait encore à cette phase de cliquer par ci par là et d'en constater l'effet, notamment en s'intéressant aux différents formats de fichiers obtenus après simulation.

-Au fur et à mesure que je m'attaque à un point particulier de la simulation c'est l'immense document "**InputOutputReferences**" (2263 pages) qui me permet de comprendre le paramétrage des objets liés au sujet que j'aborde. Afin de lire efficacement cette notice il convient d'abord de saisir le fonctionnement de l'IDF-Editor, organisé selon **le schéma Groupe/Classe/Objet/Paramètre/Valeur**.

L'IDF Editor regroupe dans des "**groupes**" consacrés à des thèmes, des "**classes**" d'objets correspondant à des types de systèmes, des types de matériaux, des types de surface, etc. Dans chacune de ces classes il est possible de créer un "**objet**" (ou d'en copier/coller un depuis une autre simulation ou une bibliothèque préconstruite et fournie avec le logiciel). Chaque objet est ensuite un ensemble de plusieurs "**paramètres**", (débit, scénario de contrôle, etc.). Enfin les "**valeurs**" données à ces paramètres peuvent être des valeurs numériques, un choix dans une liste déroulante, ou encore le nom d'un objet d'une autre classe qui intervient alors comme paramètre de l'objet considéré.

Exemple (impression écran d'un objet dans la classe « construction » (composition) et d'un matériau dans la classe « material » qui est lui-même un paramètre de l'objet construction) :

Field	Units	Obj5
Name		MurExt Maison cube
Outside Layer		Enduit Exte maison cube
Layer 2		Isolant maison cube
Layer 3		Parpaing creux 20cm
Layer 4		Platre (1.5cm)
Layer 5		
Layer 6		
Layer 7		
Layer 8		
Layer 9		

Field	Units	Obj7
Name		Isolant maison cube
Roughness		MediumRough
Thickness	m	0.275
Conductivity	W/m-K	0.032
Density	kg/m3	25
Specific Heat	J/kg-K	1378.8
Thermal Absorptance		0.9
Solar Absorptance		0.7
Visible Absorptance		0.7

Dès que la relation entre deux classes m'échappe, ou lorsque le contexte de l'utilisation d'un objet reste obscure, il m'est encore possible de rechercher si d'autres que moi se sont posés les mêmes questions et les ont partagés sur le **forum Yahoo concernant Energy Plus**. Ce forum nécessite une inscription et certains développeurs d'Energy Plus et de open Studio en sont membres et répondent volontiers à quelques questions :

http://tech.groups.yahoo.com/group/EnergyPlus_Support/

- Une fois la compréhension des objets qui me semblent basiques "acquise", il s'agit de se lancer dans des exemples complets. Ce travail demande bien sûr souvent de retourner se documenter dans les sources précédemment étudiées. Il peut également être utile à ce stade de prendre exemple sur un très grand nombre de "**Example Files**" fournis avec l'installation du logiciel. Un document central sous forme de tableau Excel est joint à cette bibliothèque d'exemples afin de permettre d'accéder directement à un exemple pertinent pour notre recherche d'après un tableau résumant son contenu de manière très lisible. Voici ci-dessous une impression écran d'un morceau de ce tableau :

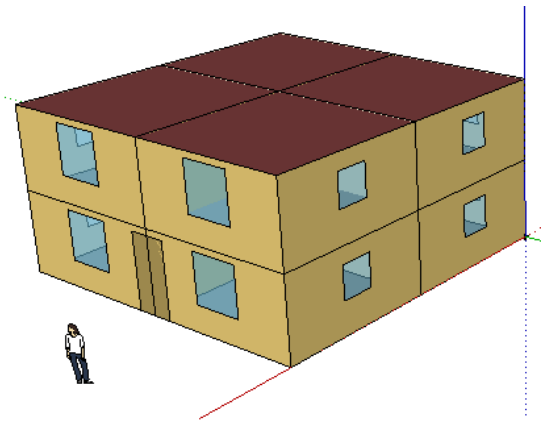
Example File Name	Link to File	Annual Run	Location (Acceptable: any location with and 2009 HOF Design Conditions)	Using "proper" Design Days -- SummerDesignDay, WinterDesignDay	Design Days	Weather File Use appropriate matched with location and design days include weather file name in IDF Do not use Chanute!	Floor Area (thousand m²)	Number of Floors	Number of Zones	Zone Definition								
										Interzone Surfaces	Internal Mass	People	Lights	Windows	Detached Shading	Daylight	Natural Ventilation	Compact Schedules
5ZoneNightVent1.idf	Click to open		Fresno	X	2	Fresno	0.464	1	6	X		X	X	X				
5ZoneNightVent2.idf	Click to open		Fresno	X	2	Fresno	0.464	1	6	X		X	X	X				
5ZoneNightVent3.idf	Click to open		Fresno	X	2	Fresno	0.464	1	6	X		X	X	X				
5ZoneReturnFan.idf	Click to open		Chicago	X	2	Chicago	0.464	1	6	X		X	X	X				
5ZoneSteamBaseboard.idf	Click to open		Chicago	X	2	Chicago	0.4636	1	6	X		X	X	X				
5ZoneSupRetPlenRAB.idf	Click to open		Chicago	X	2	Chicago	0.464	1	7	X		X	X	X				

2) Mise en pratique :

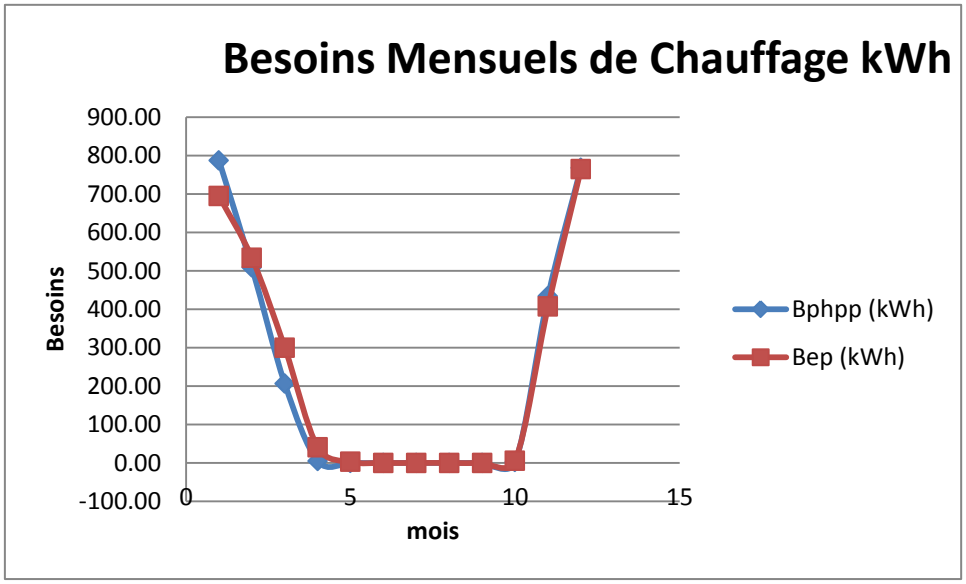
Deux cas pratiques ont été étudié avec Energy Plus, le second étant encore inachevé, je ne dispose par de l'exploitation de la simulation pour cet exemple. Je vais donc dans cette partie présenter quelques résultats concernant la Maison Cube, première mise en pratique de mes découvertes sur Energy Plus.

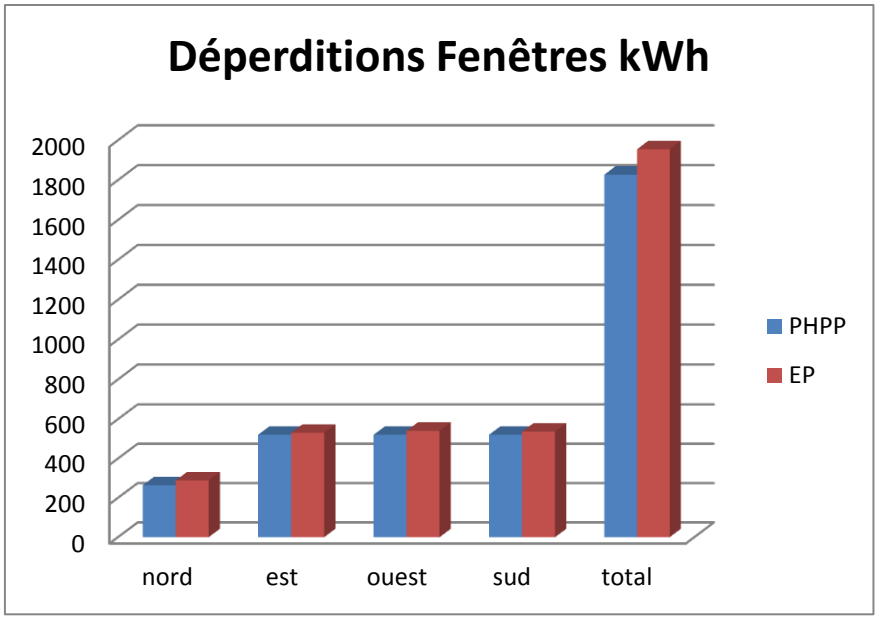
Le problème est simple tant sur la géométrie que sur son paramétrage qui ne nécessitent pas plus de fonctionnalités que celles disponibles avec Pléiades. Un modèle simple a été utilisé pour les fenêtres, pour la ventilation et pour la puissance dissipée. Seul le sol a fait l'objet d'une simulation avec SLAB, plus précise que le modèle utilisé par le logiciel d'IZUBA.

Voici le bâtiment réalisé (face Est et Nord) avec le plugin Open Studio dans Google Sketchup :



La saisie a été très précise quand il s'est agi de créer les matériaux. Une grosse partie du travail a été la création d'un fichier de sortie au format HTML rassemblant tous les tableaux nécessaires à l'exploitation post-simulation. Voici quelques graphiques témoignant d'une comparaison (ces graphiques n'en sont qu'un court extrait) acceptable entre les résultats d'EP et ceux de PHPP :





Plusieurs variantes ont été réalisées afin de rechercher l'origine des écarts observés, ces variantes ont d'ailleurs permis d'identifier un problème au niveau de la saisie de la ventilation qui a par la suite été corrigé. Voici le bilan après corrections :

Besoins de Chauffages (kWh/an)			
Variante	EP	PHPP	Variante
complète	2747.48	2711	1
sans fenêtres	3231.2	3083	2
sans ventilation ni infiltration	1185.37	1245	3
sans ventilation ni fenêtre	1344.81	1317	4
sans apports	6208.56	6747	5
sans retraits	2410.6	2333	6
sans apports solaires	4952.24	4810	7
sans apports internes	3618.24	4456	8

variantes	1	2	3	4	5	6	7	8
Apports Solaires = 0					x		x	
Apports Internes = 0					x			x
Infiltrations et Ventilation = 0			x	x				
Fenêtre = Absentes		x		x				
Retrait = Absent						x		
DELTA	36.48	148.2	-59.63	27.81	-538.44	77.6	142.24	-837.76
VALIDATION	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	NON
JANVIER PROBLEMATIQUE			x	x				

La différence observée avec la variante 5 vient du fait que PHPP semble prendre une hypothèse de calcul en dessous d'un certain seuil d'apports internes, nous ne sommes cependant pas entré suffisamment dans les détails des calculs PHPP pour pouvoir émettre une quelconque critique sur cette hypothèse.

3) Notices :

La moitié de mon temps sur EP est bien sûr consacré à s'occuper de ma tête constamment gonflée de nouvelles connaissances et de km de notices Energy Plus. Il me faut mettre toutes ces informations sur papier régulièrement, afin qu'elles ne se fassent pas écraser par l'arrivée des suivantes. Ce travail de rédaction quotidien a abouti aujourd'hui à **168 pages de mode d'emploi d'Energy Plus**. Mais il ne suffit pas de mettre bout à bout les idées comme elles viennent. Dès lors qu'on se lance sur un sujet, il est très facile de partir sur un autre dès lors qu'un paramètre fait appel à un objet inconnu, c'est même parfois nécessaire à la compréhension. Malgré mes efforts pour ne pas me disperser, je suis souvent forcé de subir l'organisation proposée par EP. L'enjeu est d'ensuite concilier cette organisation avec celle dont on aurait réellement besoin pour mener une simulation d'un bout à l'autre, une organisation plus intuitive. Il me faut donc souvent décider de rassembler certaines classes, parfois originaires de groupes différents afin d'être complet sur une étape d'un projet. De plus afin de produire un travail exploitable, il convient de référencer correctement ces notices et de proposer des vues globales de l'ensemble de mon travail.

Premièrement, chacune de mes notices commence par un paragraphe d'introduction donnant le thème et les objectifs du document.

Un document Word récence également l'ensemble des documents que j'ai été amené à rédiger.

Enfin, un tableau Excel renvoi l'utilisateur vers la bonne partie du bon document lorsque celui-ci recherche la manière d'aborder une étape de la saisie (scénario, ventilation , menuiseries, sol, etc.). Ce renvoi est conditionné par la précision du modèle souhaité, proposant à l'utilisateur des modèles précis, simplifiés et même parfois poussés. Je propose ici un morceau de ce tableau à titre d'illustration :

Etape Simulation	Modèle	Description	Limites	Doc
Information du projet				RetD10_03
Orientation du Batiment				RetD10_05
Météo				RetD10_14
Paramètre de Simulation				
	période simulée	Définition des périodes simulées		RetD10_04a
	fichiers de sorties	Définition des Résultats Souhaités	dans les limites des variables disponible	RetD10_12
Exploitation des Résultats				RetD10_13
Géométrie				
	Création sous OS			RetD10_03
	Création sous IDF-Editor			RetD10_05
Contacts/Conditions limites				RetD10_05
Matériaux de Construction				
	modèle simplifié de matériau opaque	Matériaux opaques définis par leur resistance thermique	ne tient pas compte de l'inertie	RetD10_06
	modèle détaillé de matériau opaque	Matériaux opaques définis par un ensemble de propriétés	nécessite une documentation précise	RetD10_06
	modèle simplifié de matériau transparent			RetD10_07
	vitrage multicompositions		nécessite une documentation précise	RetD10_07
Compositions				RetD10_03
Pont Thermiques		utilisation d'une surface équivalente	méthode approximative	RetD10_06
Menuiseries				
	modèle simplifié de fenêtre	Utilisation d'un matériau transparent simpllifié dont on dégrade les propriétés pour tenir compte du cadre	on fait les calculs où on utilise les valeur Uw et g moyennes calculées par PHPP	RetD10_07
	Modèle précis de fenêtre	Saisie des propriétés du cadre et des montants	nécessite une documentation précise, pas de PT	RetD10_07
	Portes opaques simplifiées	utilisation d'un matériau opaque simplifié	ne tient pas compte de l'inertie	RetD10_07
	Portes opaques précises	utilisation d'un matériau opaque détaillé	nécessite une documentation précise	RetD10_07
	Portes vitrées simplifiées	utilisation d'un matériau transparent simplifié	on fait les calculs où on utilise les valeur Uw et g moyennes calculées par PHPP	RetD10_07
	Porte vitrées précises	utilisation d'un matériau transparent détaillé	nécessite une documentation précise	RetD10_07

Notes :
-ce tableau est immense, ici des colonnes ont été masquées, elles aident l'utilisateur, lorsque celui-ci a différents modèles disponibles à choisir celui que correspond au **type de simulation** qu'il veut effectuer. Il manque aussi la dernière colonne donnant le chapitre précis concernant le sujet.
-L'ensemble de mes notices sera peut-être joint à l'envoi de ce rapport. Un extrait représentatif de l'ensemble du travail sera joint en annexe.

4) Aboutissement :

Loin de moi la prétention d'avoir ramené à ma portée plus de **20% des capacités d'Energy Plus**. Certains aspects m'échappent encore et ceux que j'ai compris peuvent encore parfois me réserver quelques surprises. Cependant j'ai pu me mettre à portée (et espère mettre à portée ceux qui liront mon travail) de la saisie de modèles simples, à peine supérieur à ceux saisis par Pléiades mais ici avec un outil gratuit. J'ai poussé le travail plus loin sur des points limitant de la STD sur Pléiades comme la considération des ombrages, la modélisation du sol, la **régulation conditionnelle** (seules les valeurs fixes horaires sont disponibles sous pléiades tandis qu'on pourra ici par exemple piloter l'occultation selon le rayonnement solaire incident), **la saisie de certains système de chauffage, les calculs de dimensionnement** (une option « autosizing » proposer par EP permet par exemple le calcul du débit dans un radiateur pour satisfaire les besoins de chauffage) , etc.

Je pense avoir produit une notice exploitable avec une bonne efficacité et un langage accessible au stade de l'initiation à la manipulation de ce logiciel.

D) Fiches Apprentissages et visites :

Ayant pris soin de détailler des fiches rassemblant mes découvertes au sein d'HELIASOL, je ferais de ce rapport un roman si j'y insérais toutes ces notes. Je mets donc l'intégralité de ces fiches en Annexe et me contente ici d'en proposer des extraits, ce qui me semble le plus important.

1) La Maison Passive :

LA THEORIE :

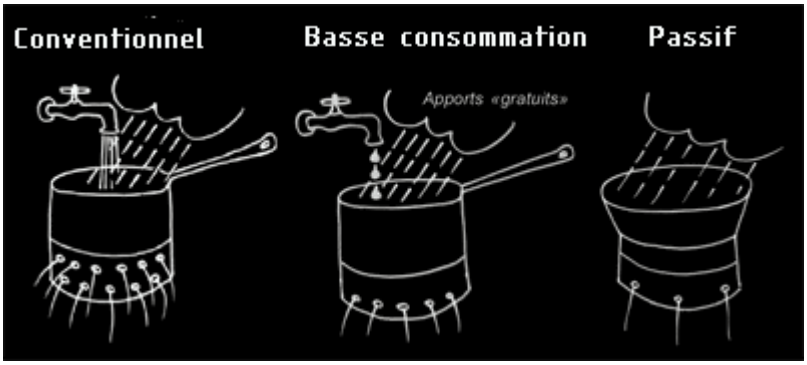
Le label Maison Passif, hérité du label allemand Passiv'Haus, a pour but une diminution drastique des consommations de chauffage/refroidissement par la mise en place d'une enveloppe permettant de freiner considérablement les pertes de calories et frigories (confort en été) ainsi qu'en assurant une étanchéité à l'air de haut niveau.

Il s'agit pour cela de favoriser les apports gratuits en hiver par une position intelligente des vitrages et du système de récupération de chaleur sur l'air extrait. En été ces mêmes systèmes permettront de récupérer du froid sur l'air extrait et il s'agira de mettre en place une occultation efficace pour éviter les surchauffes et garantir le confort.

Les consommations d'énergie primaire totale, équipement inclus (éclairage, électroménager, auxiliaires de ventilation) sont également diminuées.

Finalement, voici les trois critères à respecter :

-**Besoins en chauffage < 15 kWh/(m2.a)** ou puissance de chauffe < 10 W/m2
Pourquoi cette valeur ? Selon Etienne Vekemans : "parce que la pratique (et la théorie) montre que jusqu'à cette valeur, on peut utiliser l'air comme fluide caloporteur".
-**Étanchéité de l'enveloppe : n50 ≤ 0,6 h-1**
Cf. fiche apprentissage sur l'étanchéité à l'air des bâtiments.
- **Besoins en énergie primaire totale < 120 kWh/(m2.a)**



LA PRATIQUE :

La construction passive va nécessiter une isolation importante, source d'un coût d'investissement initial plus important que pour une construction classique. D'où l'importance d'insister sur les économies réalisées années après années du fait d'une faible consommation énergétique.

Selon les conseils de la **Maison Passive France** (association qui certifie), le choix des matériaux et menuiseries devra permettre d'atteindre les performances suivantes :

-la valeur U doit être inférieur à 0,15W/(m2K) pour les cloisons opaques.
-la valeur U des fenêtres et autres parois translucides doit être inférieur à 0,8 W/(m2K).

La construction devra être réalisée avec soin et les ouvrants placés efficacement. Quelques conseils encore :

-les parois translucides avec une orientation ouest ou est (±50°) ainsi que les parois translucides avec une inclinaison inférieure à 75° par rapport à l'horizontale ne doivent pas représenter plus de 15% de la surface utile (habitable) correspondante. Sinon, elles doivent être équipées d'une protection solaire temporaire avec un facteur de protection de 75%.
-Pour les fenêtres orientées au Sud, la limite est fixée à 25% de la surface utile.

Si le concepteur n'a pas l'expérience de construction passive, l'association le conseille et, si nécessaire, le suit jusqu'à l'aboutissement du projet.

Afin d'atteindre le niveau d'étanchéité à l'air souhaité, **on ne se contentera pas d'un test d'étanchéité à la fin du chantier**. Dès lors que l'ossature, l'isolation et l'enveloppe étanche sont en place, il convient de faire un test tant qu'il est encore temps d'apporter des corrections au travail réalisé. On identifiera ainsi les lieux de fuite et on prendra les dispositions nécessaires.

Pour la même raison, afin d'éviter les mauvaises surprises, les documents nécessaires à l'obtention du label doivent être soumis à examen pendant la phase de conception, afin que des corrections ou des suggestions puissent être apportées le plus tôt possible.

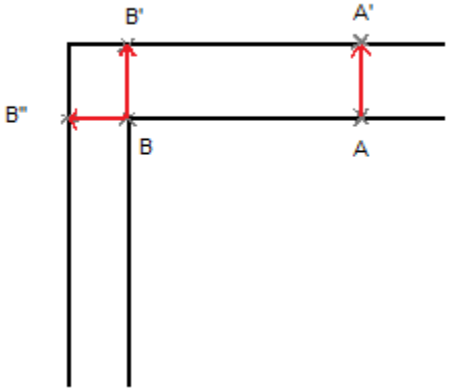
2) Les ponts thermiques :

DEFINITION :

Franck a pour habitude de poser la question : qu'est-ce qu'un pont thermique ? Tout en étant convaincu d'obtenir comme réponse celle que pourrait lui donner un architecte éclairé :

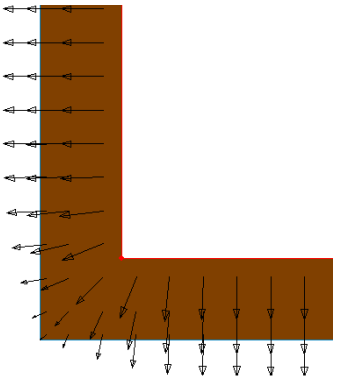
-Une faiblesse dans l'enveloppe thermique du bâtiment, un point froid.

Cette réponse est juste, on peut en effet voir les choses comme ça :



Sur le schéma ci-contre, la chaleur au point A est transmise à travers la paroi au point A'. Le point B échange quant à lui avec les points B' et B'', le transfert de chaleur est plus important, on a apparition d'un point froid.

Bien sur ce schéma est une explication simplifiée. Dans la réalité, les lignes de flux prennent cette forme :

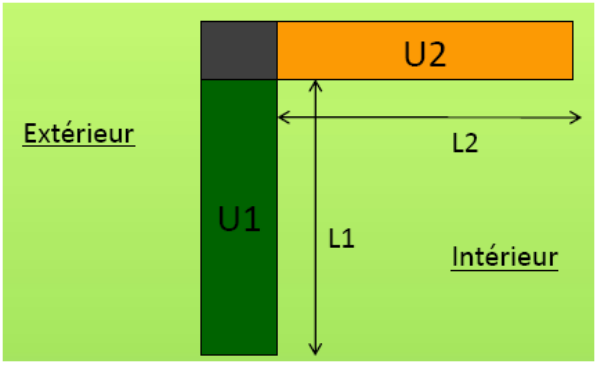


La réponse de l'architecte est donc juste mais insuffisante pour un thermicien dont la réponse devrait être (selon les mots de Franck) :

-Une correction mathématique par rapport à un modèle de calcul de déperdition thermique/

Pour comprendre cette réponse, rappelons la démarche de calcul des déperditions thermiques selon deux méthodes : en dimensions intérieurs et en dimensions extérieurs :

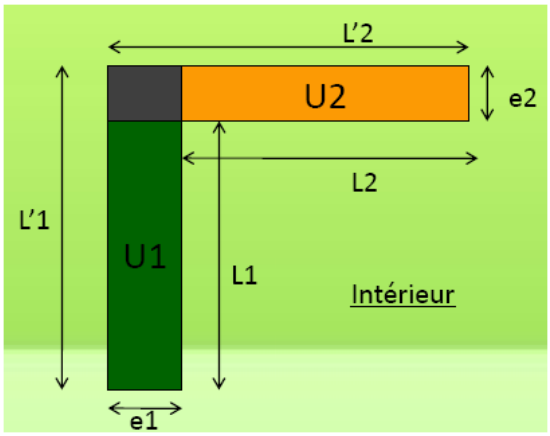
Lorsque l'on saisit un bâtiment en dimension intérieur, on fournit au logiciel les longueurs L1 et L2 du schéma ci-dessous ainsi que les U respectifs des murs, mais alors le flux passant dans la zone grisée sur le schéma est négligé.



Le pont thermique intervient pour corriger le calcul du flux comme illustré dans la formule suivante :

φ/ ΔT = (U1 x L1) + (U2 x L2) + ψ On parlera ici de ψint.

En saisissant le bâtiment en dimensions extérieurs la partie grisée est « comptée deux fois » ; Dans le cas illustré ci-dessous on compte donc trop de flux sortant, la correction sera de signe négatif.



On a donc deux façons différentes de calculer les déperditions et deux façons de corriger le calcul pour finalement obtenir le même flux. Il est donc possible de lier la valeur de notre pont thermique en dimensions intérieurs à sa valeur en dimensions extérieurs :

φ/ ΔT = (U1 x L1) + (U2 x L2) + ψInt et **φ/ ΔT = (U1 x L'1) + (U2 x L'2) + ψExt**

D'où : **ψInt= (U2 x e1) + (U1 x e2) + ψExt** et **ψExt = ψInt - (U2 x e1) + (U1 x e2)**

On retrouve le fait que ψExt peut-être négatif.

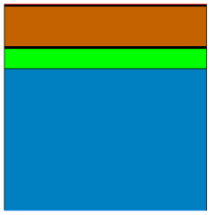
Notes : les ponts thermiques donnés par la RT2005 sont donnés en dimensions intérieurs.

PRINCIPE DU CALCUL :

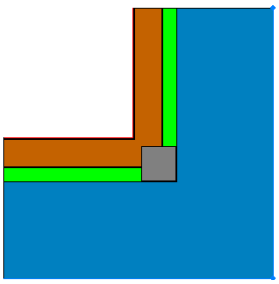
Nous allons nous placer dans un cas très simple, celui d'un angle sortant :

Pour évaluer la valeur du pont thermique il nous faut faire la différence entre le flux non perturbé, (tel qu'il est calculé par un logiciel de simulation thermique en considérant les deux façades indépendamment) et le flux perturbé en raison de la présence de l'angle. On réalise donc les deux dessins suivants :

Calcul du flux non perturbé :

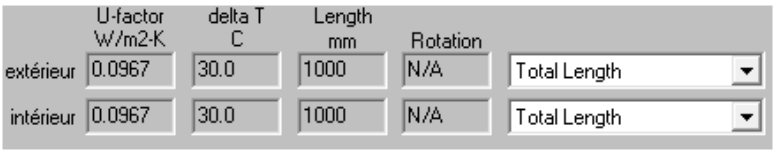


Calcul du flux perturbé :



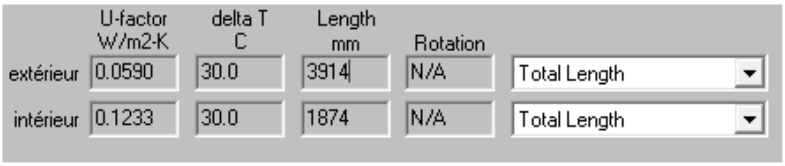
Dans un cas plus compliqué on n'aura 3 dessins. Par exemple, dans l'étude d'une liaison Mur/Plancher, il y aura le dessin complet, le plancher seul, et le mur seul.

Pour le flux non perturbé, le résultat fourni par THERMS (appelé Ufactor) correspond au U de notre paroi (remarquer que les dimensions extérieurs et intérieurs sont ici identiques) Cette valeur permet de calculer le flux non perturbé :



Appelons Unp , le U factor de ce cas non perturbé

Le logiciel THERMS calcul le U factor (W/m².K) de notre problème vu de l'intérieur et vu de l'extérieur (2 valeurs différentes selon les dimensions considérées) :



Appelons Upi et Upe , les U factor du cas perturbé en dimensions intérieur et extérieur.

Ici le flux cédé par l'intérieur est reçu par l'extérieur sur une surface plus grande, étant ramené au m² le U factor calculé pour l'ambiance externe est plus petit que celui calculer sur l'ambiance interne.

On peut donc dresser le tableau suivant pour le flux perturbé :

Ambiance	U	Long totale	L1 mm	L2 mm	Delta T
Intérieur	0.1233	1874	937	937	30
Extérieur	0.059	3914	1957	1957	30

Remarquer :

0.1233 x 1874 = 0.059 x 3914

Ici, distinguer L1 et L2 n'est pas très important mais cela le deviendra lorsque l'on aura un intérieur en contact avec l'extérieur selon L1 et avec un LNC (Local Non Chauffé) selon L2.

On calcul donc [W/m.K] :

φ(non perturbé en dimension int)/ ΔT = (Unp x L1) + (Unp x L2)
φ(non perturbé en dimension ext)/ ΔT = (Unp x L1') + (Unp x L2')
φ(perturbé en dimension int)/ ΔT = (Upi x L1) + (Upi x L2)
φ(perturbé en dimension ext)/ ΔT = (Upe x L1') + (Upi x L2')

Ces flux correspondent au transfert de puissance par m linéaires de liaison.

alors ψInt = φ(perturbé en dimension int)/ ΔT - φ(non perturbé en dimension int)/ ΔT
et ψExt = φ(perturbé en dimension ext)/ ΔT - φ(non perturbé en dimension ext)/ ΔT

3) L'étanchéité à l'air :

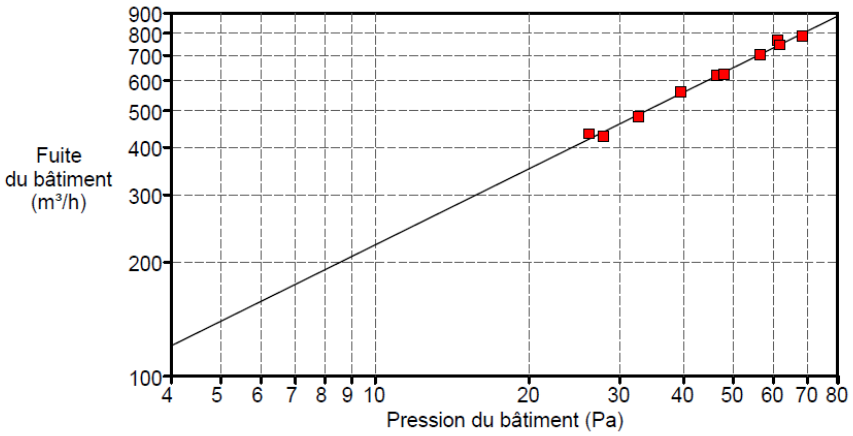
PROCEDURE :

On installe la **porte soufflante** et on bouche les sources d'arrivée d'air qui ne sont pas étanche au moment du test mais qui le seront après. On remplie donc les gaines d'arrivée et de sortie de la ventilation double flux, on scotch les bouches d'aération , on scotch les trous dans les portes qui accueilleront les poignées, on remplie les siphons et on obstrue les tuyauteries. On laissera libre les orifices de ventilation naturelle.

On lance ensuite la mesure, tandis que **le ventilateur met en surpression ou en dépression** (créé un ΔP entre l'intérieur et l'extérieur) le bâtiment, le débit et le ΔP sont mesurés de sorte d'avoir suffisamment de mesure pour obtenir la courbe
Q (m^3/h) = F (ΔP (Pa)).

RESULTATS :

On obtient donc la courbe **Q (m^3/h) = F (ΔP (Pa))** qui est une droite dans un repère logarithmique :



Sont également évaluées les données suivantes :

-**surface équivalente de fuite :** Al (cm²) : surface d'un orifice à bord vif, débitant sous un gradient de pression défini, le même volume horaire que l'ensemble des zones de fuite d'un bâtiment.
-**Coefficient de débit d'air Cenv et de fuite d'air CL en m^3/h/Pa^n ainsi que l'exposant du débit d'air n (compris entre 0.5 et 1) :** Données de la loi d'écoulement qui pourront être utilisées sous Energy Plus.

-Coefficient de corrélation permettant d'évaluer la confiance de la mesure.

Intéressons nous uniquement ici aux données exploitables de la courbe. Deux indicateurs de l'étanchéité à l'air sont systématiquement utilisés pour caractériser les performances d'un bâtiment : le n50 et le Q4Pa-Surf (anciennement I4). Voici comment ces indicateurs sont calculés :

$$n50 = \frac{Débit\ de\ fuite}{Volume\ du\ bâtiment} \qquad [\frac{vol}{h}]$$

$$Q4Pa - Surf = \frac{débit\ de\ fuite}{surface\ de\ l'enveloppe\ donnant\ sur\ l'extérieur\ (plancher\ non\ compris)} \qquad [\frac{\frac{m^3}{h}}{m^2}]$$

On devine alors qu'il existe un lien entre le n50 et le Q4Pa-Surf et que ce lien va faire intervenir la compacité et la pente de la droite. Après réflexion on obtient :

$$n50 = e^{pente\ de\ la\ droite} \frac{I4}{Compacité\ (= \frac{volume}{surface\ déperditives\ hors\ plancher})}$$

Le Q4Pa-Surf est une particularité du système français qui est théorique car non mesurable. On fait une extrapolation (on poursuit la droite) pour connaître la valeur du débit de fuite pour un si faible gradient de pression.

VALEURS CIBLES :

Donnons ici quelques valeurs reliant des bâtiments efficaces à leurs n50 et Q4Pa-Surf. Voici ce qu'imposent les labels :

Valeurs cibles $Q_{4\ Pa\text{-}surf}$ (appelée également I_4)
de la RT 2005

Usages	Par défaut	Valeurs justifiées	Valeurs Label BBC-Effinergie EN NEUF	Valeurs Label BBC-Effinergie EN RENOVATION	Référence Label Passiv'Haus
Maison	< 1,3	< 0,8	< 0,6	< 0,8	< 0,16
Logements collectifs	< 1,7	< 1,2	< 1	< 1,3	< 0,23
Bureaux, hôtels, restauration enseignement, petits commerces, établissement sanitaires	< 1,7	< 1,2	< 1,2	Non définie	< 0,23
Autres Usages	< 3	< 2,5	< 2,5	Non définie	

Pour le passif, la valeur figurant dans les critères est celle du **n50 correspondant à la valeur 0.16 pour le Q4Pa-Surf : n50 < 0.6 vol/h.**

La valeur du Q4Pa-Surf correspondant à une maison BBC correspond après calcul à un n50 de 2.23 (compacité moyenne considérée)

Donnons également quelques valeurs de surfaces équivalentes de fuite AL :

-pour Q4Pa-Surf = 0.6, on a une surface équivalente de fuite AL = 211 cm², soit un trou circulaire d'un diamètre de 16 cm
-pour un Q4Pa-Surf = 0.16, AL = 56 cm², soit un trou circulaire de 4.2 cm de diamètre.

Autres valeurs intéressantes concernant les conséquences sur les consommations énergétiques :

-entre 2 et 5 kWh/m²/an par unité de n50
-entre 5 et 10 kWh/m²/an par unité de Q4Pa-Surf

III) Acquis et Projet Personnel :

A l'aube d'un grand tournant dans ma route vers la vie active, il me parait intéressant de consacrer un morceau de ce rapport à un bilan.

A) Le passé :

1) Développement de mon projet personnel :

Mon parcours jusqu'en classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieur n'a pas été tracé par une motivation précise mais plus jusqu'alors par les conseils de mes enseignants. Ces conseils reposaient sur l'existence de bons résultats dans les matières scientifiques sans pour autant que les portes me soient fermés sur une voie plus littéraire. Je me disais alors qu'en prenant la pente raide avec une formation difficile j'aurais alors une fois en haut une vue plus efficace sur les voies possibles et la possibilité encore d'emprunter celle de mon choix.

C'est au travers d'un projet en classes préparatoires que j'ai pu faire connaissance avec le domaine des énergies renouvelables et l'enjeu que celui-ci représente. Il s'agissait alors d'un rapport auquel j'avais donné le titre : "**Potentiel éolien : de programme suisse-énergie à l'exploitation du site de Collonges**". Ce travail m'avait alors beaucoup intéressé et a pu orienter mon parcours, à l'issu des concours des écoles d'ingénieur, vers l'école Polytech Savoie.

Ayant déjà connu le travail d'ouvrier aux services voiries et bâtiment de ma ville durant deux été consécutifs, j'ai pu pour mon stage ouvrier recherché une expérience plus proche du métier que j'exercerai plus tard. J'en avais donc profité pour vérifier mon attirance pour l'éolien à travers un **stage au service développement éolien de la Compagnie du Vent (Groupe GDF SUEZ)**. La mission qui m'avait alors été confiée avait été très enrichissante par l'opportunité qu'elle offrait d'avoir une vue globale des étapes d'un projet éolien. Ma tâche avait consisté en la création d'une base de donnée sur **Système d'Information Géographique** (SIG) afin d'y répertorier les projets de la concurrence ainsi que leurs états d'avancements. Cette mission m'avait amené à travailler en collaboration avec les chefs de projets du service (chacun spécialiste d'une ou plusieurs régions dont ils ont la charge) et à contacter les différents acteurs d'un projet éolien (notamment les services de l'état en charge de la validation de différentes étapes du projet).

2) Etat de mes connaissances avant le stage :

Deux ans d'études ont suivi ce stage et l'enseignement est devenu progressivement plus spécialisé. J'ai acquis en deux an des connaissances utiles à deux principaux types d'ingénieur, **l'ingénieur énergéticien et l'ingénieur thermicien**. Je n'avais avant ces deux ans jamais imaginé me glisser dans peau du second. Cependant j'ai été amené à le faire à travers notamment deux projets importants. En 2ème année tout d'abord, mon **projet technique** avait porté sur la **reconstruction de la salle polyvalente du Bourget du Lac** en partenariat avec le bureau d'étude Inddigo. Cette reconstruction s'accompagnait d'une idée "bâtiment zéro énergie" et avait amené notre quatuor à fixer des problématiques. Dans un premier temps, les objectifs ont été fixés autour de l'utilisation de matériaux écologiques, faible consommateurs d'énergie grise et dont la production comme l'utilisation n'était pas source d'émissions de gaz à effet de serre. L'idée ensuite avait été de diminuer les consommations de la salle par une isolation efficace et une démarche de sobriété particulière du fait d'un usage particulier du bâtiment (occupation irrégulière, besoins d'éclairage spéciaux, faible consommation d'ECS). Nous avions bien évidemment veillé aux aspects sanitaires et conforts. En troisième année, à l'occasion de mon **projet de fin d'étude** (PFE) en partenariat avec l'INES, j'avais travaillé sur la problématique "**Monomur et Passif**", un projet qui m'avait amené à manipuler de nouveau la simulation thermique dynamique (sous Pléiades). Ce projet incluait également une Analyse de Cycle de Vie (ACV) et la découverte de l'impact de la mise en œuvre sur les performances du bâtiment (premier contact poussé avec la composition d'un mur, puisqu'il nous avait été demandé d'anticiper la conception d'une maison Monomur). Enfin, un tiers du travail avait consisté en une comparaison entre 18 simulations qui nous avait permis d'observer la variabilité des besoins et du confort en fonction de la présence d'aérogel de silice (plusieurs épaisseurs avait été testées) en complément du mur, et ce sur 3 types différents de maisons (dont deux Monomur différents).

Certains enseignements de cette troisième année à Polytech Annecy Chambéry m'avaient également apporté des connaissances supplémentaires en matière d'énergie (solaire thermique et photovoltaïque, éolien, économie de projet énergie renouvelable, pile à combustible, etc.).

A l'issu de ma formation en école d'ingénieur et à l'heure du choix de mon stage, me voilà donc riche d'une **double compétence**. L'éolien m'avait plu en entreprise mais je suis quelqu'un qui aime faire des choix éclairés et j'ouvre donc mes recherches à des secteurs qui reste sans expérience en entreprise à ce jour. Un grand nombre de mes demandes sont donc diriger vers des bureaux d'études de thermique du bâtiment. C'est ainsi que j'en viens à découvrir **HELIASOL** puis à rencontrer Franck et Jean Luc. Leur philosophie me plait, je perçois très vite également qu'ils auront à cœur de m'apprendre et que je pourrais ainsi renforcer ma "double compétence" avant de faire un choix.

B) Le présent :

1) Nouvelles connaissances en thermique du bâtiment :

A l'issu de ce stage riche en opportunités (on l'aura, à ce stade de la lecture, bien constaté) je me suis petit à petit formé une réelle culture dans la thermique du bâtiment. J'ai acquis des compétences techniques notamment avec une compréhension des ponts thermiques, de leur impact et de leur calcul sans aucune comparaison avec l'état de cette compréhension avant ce stage. J'ai pris connaissance avec des enjeux tel que l'étanchéité à l'air et même pu observer où intervenait ces enjeux dans la conception d'un bâtiment efficace. J'ai enfin "vu les choses" lors de mes visites dans des bâtiments à différents stades d'avancement et même "mis la main à la paille" et participer à la mise en place de l'isolation dans une conception bioclimatique.

En écoutant divers discussions lors des réunions auxquelles j'ai assisté ainsi que lors de ma découverte des possibilités d'Energy Plus, j'ai pu me faire une idée des différents systèmes de chauffage et d'économie d'énergie ainsi que de leur domaine d'application dans des maisons aux faibles besoins.

A travers les possibilités de régulation "conditionnelle" offertes par Energy Plus j'ai pu me faire également une idée des moyens de contrôle des systèmes de chauffage, de rafraichissement, d'éclairage, de ventilation, d'occultation.

2) Méthode de travail :

Une mission de recherche comme celle qui m'a été confiée nécessite une méthode de travail bien particulière. Chaque découverte doit trouver au fur et à mesure une place "sur le papier" afin de ne pas se perdre parmi un flot constant ne nouveaux acquis et afin de la rendre facilement accessible à autrui. L'organisation de mes notices a été le travail le plus difficile mais une fois l'épreuve surmontée je peux faire face avec plus de sérénité à de lourds travaux de rédaction.

Après la lecture de milliers de pages en Anglais, il est clair que j'ai fait de nombreux progrès dans une langue qu'il me tient à cœur de maîtriser parfaitement. J'ai acquis le vocabulaire propre à mon futur métier et suis aujourd'hui capable de lire un anglais scientifique.

Enfin, à travers la rédaction de nombreuses notices, et l'exposé régulier de mes découvertes à Franck par oral, j'ai certainement acquis des capacités de communication écrite

et orale ainsi qu'une capacité de vulgarisation scientifique. Afin d'être compris la forme est aussi importante que le fond, il s'agit de faire le choix de format efficace parmi schémas, tableaux, illustrations afin de rendre la lecture d'un contenu technique plus accessible. L'ultime étape de cet apprentissage là se déroulera durant la dernière semaine de mon stage, autour de ma soutenance de stage d'ailleurs. Il me faudra à ce moment là donner une formation sur Energy Plus à l'équipe d'HELIASOL, l'occasion d'une ultime évaluation personnelle.

3) Une découverte humaine :

L'expérience aura également été unique du fait d'un contact permanent avec un ensemble de personnes rassemblé par des valeurs et des principes communs. Des gens pour qui le fait de travailler en accord avec ses convictions passe avant toute idée de profit. J'ai pu côtoyer les acteurs du bâtiment durable, des personnes qui partagent cette même volonté qui est la mienne de travailler pour le bien commun des hommes et de leur planète. J'ai rencontré des gens qui gardent la plus grande honnêteté dans tous leurs échanges, un fait bien rare lorsque ces échanges ont un aspect commercial. J'ai également pu constater que de plus en plus de particuliers prennent conscience de l'intérêt de construire un bâtiment qui consommera peu et sera constitué de matériaux sains pour l'homme comme pour l'environnement, et ce même si l'investissement initial est un peu plus important.

C) Le futur :

1) Deux options à envisager :

Dès lors que je m'interroge sur mon avenir, j'ai l'impression de sortir attristé de ce stage. Comme si j'aurais préféré que la thermique du bâtiment ne m'intéresse pas et qu'ainsi le choix aurait été plus facile. Mes parents me rassurent alors en me disant que je devrais m'estimer heureux d'avoir le choix entre deux secteurs qui me plaisent, qui sont d'actualités et qui partagent ce même but qui est d'améliorer, chacun à sa manière, le paysage énergétique, et de garantir le développement durable.

Il convient pour faire mon choix de ne pas perdre de vue qu'il s'agit de deux secteurs en mouvement perpétuel. Comme je l'avais expliqué dans mon rapport en sortie de stage à la Compagnie du Vent, l'avenir de l'éolien est incertain. Tandis que les développeurs font la course au permis de construire, l'espace disponible devient limité, d'autant plus par l'existence des Zones de Développement Eolien (ZDE). J'avais alors parlé des alternatives comme le développement à l'international, l'éolien Offshore, le repowering (remplacement des anciennes machines par de nouvelles). J'avais également parlé d'autres énergies en développement comme le solaire, la géothermie, la biomasse et le bio carburant. En résumé, mon choix à long terme, s'il s'oriente vers les énergies renouvelables ne sera certainement pas

complètement semblable au développement éolien comme celui-ci m'avait attiré lors de mon stage. Il demeure donc le risque d'être déçu comme celui d'être agréablement surpris.

Quant à la thermique du bâtiment, j'ai eu la chance d'intégrer une entreprise qui veut anticiper les tendances et fixer "haut la barre" en privilégiant le passif. L'idée est de ne pas se retrouver à rénover dans 10 ans des bâtiments construits aujourd'hui dans les normes parce que ceux ci ne le seront plus. Avec la réglementation 2010 qui est en retard mais entrera bientôt en vigueur, le standard devient une sorte d'équivalent du BBC actuel et les acteurs de la thermique prévoit que le passif sera surement devenu le standard d'ici 2020. C'est ici que je vois également un risque. Faire du passif ne restera plus longtemps une activité rare et la concurrence va se développer très rapidement avec l'évolution de la réglementation. Pour l'instant Franck se sent rassurer, il pressent un métier qui va évoluer, intervenir de plus en plus tôt dans un projet et demander de plus en plus de tâches. Tandis que l'ingénieur thermicien n'a parfois aujourd'hui que la charge de l'isolation, le thermicien de demain devra être habileté à intervenir toujours plus dans le choix des systèmes de chauffage et particulièrement dans les systèmes de ventilation. Franck est également rassuré par une balance offre/demande qui penche très nettement du côté de la demande pour l'instant. Avec l'arrivée de la concurrence il est cependant conscient qu'il faut surveiller cet équilibre qui finira par s'inverser un jour ou l'autre.

2) Un projet à réaliser :

Qu'en est-il de demain finalement ? Dans ce récit de mes études je n'ai pas encore mentionné une expérience que je considère comme l'une des plus enrichissantes parmi celles que j'ai pu vivre. Il s'agit de 6 semaines de chantiers internationaux en Islande parmi des centaines de volontaires aux multiples origines dans un des plus beau pays du monde. Cette expérience m'a beaucoup appris sur les autres, sur moi même et sur la nature qui m'entoure. Une conséquence de ce voyage est un doute profond qui demeure en moi depuis, une envie de voyager que j'envisageais de concrétiser par une formation à l'étranger ou un travail sur place (V.I.E ?). Cependant il est très difficile de trouver quelque chose qui corresponde réellement à mes besoins et j'hésitais à reporter ce projet à plus tard. Cette hésitation est morte dans une discussion avec Franck durant laquelle j'ai compris que je ne pourrai pas m'investir pleinement auprès d'une entreprise tant que j'aurais au fond de moi ce sentiment qu'il me reste quelque chose à apprendre d'un tel voyage. J'ai commis une erreur en ne faisant pas de semestre à l'étranger, une erreur commise au profit d'une relation amoureuse, je dois l'avouer. Je partirais donc l'année prochaine à l'étranger, en espérant pouvoir y enrichir mon CV, mais je partirai même si cela ne devait m'apporter qu'une expérience humaine et me permettre de revenir bilingue. J'ai la chance d'avoir fait deux stages avec des missions d'ingénieur qui me permettront de mieux m'orienter à mon retour et j'aurai sûrement des idées plus précises à ce moment là.

HELIASOL me propose de me garder en CDD un mois ou 2 afin de poursuivre un peu plus loin l'étude d'Energy Plus. Un CDD qui pourrait se faire à temps partiel afin de me laisser le temps, à côté de mon travail, de faire des recherches pour mon projet de départ.

Conclusion :

En résumé, ce stage a été une réussite sous tous les aspects, il m'aura apporté culture, savoir technique et maîtrise de nouveaux outils. Il m'aura permis de développer mes compétences en communication écrite, vulgarisation, résumé technique, et m'aura fait gagner en facilité pour la lecture de l'anglais spécialisé. J'espère également avoir acquis de nouvelles méthodes et une organisation encore plus rigoureuse en prenant mes ainés pour modèles. Mes objectifs ont été atteints.

Je garderais un très bon souvenir de ces 17 semaines et je suis persuadé que ce qu'elles m'auront apporté me servira à l'avenir quelque soit mon choix. Un choix que je reporte donc d'un an, ne me sentant pas suffisamment mûre dans mon expérience de vie. J'irai côtoyer le monde du travail bercé par d'autres cultures et en reviendrai, je l'espère, avec d'autres savoir que je mettrais quoi qu'il arrive au service du développement durable.

Bibliographie :

Energy Plus et Open Studio :

-Aide Open Studio en ligne :
http://openstudio.nrel.gov/documentation
-Documentation Energy Plus :
Fournie avec l'installation du logiciel
-Forum Yahou sur Energy Plus :
http://tech.groups.yahoo.com/group/EnergyPlus_Support/

Etanchéité à l'air du bâtiment :

-Déroulement du test :
http://www.lamaisonpassive.be/etancheite-air
-Présentation de l'étanchéité à l'air :
http://ft2i.fr/package_pdf/guides/etancheite-air-MOB.pdf
-Rapport d'infiltrométrie (définition des résultats et valeurs cibles) :
http://www.fenetres-franc-comtoises.com/fichiers/GRILLON-J-Yves-ST-NARBOZ.pdf
-Enjeux de l'étanchéité :
http://www.moboa.fr/etancheite-a-l-air-du-batiment.htm#enjeux

Construire en bois et paille :

-Le blog de Franck :
http://passivepaille.free.fr/index.php?Le_chantier_participatif:Comment_venir_%3A
-La maison ossature bois :
http://www.maison-et-bois.net/etapes.htm
http://www.isover.fr/Conseils-et-reglementation/Isolation-des-combles/Structure-de-la-charpente-et-isolation-des-combles

La Maison Passive :

-Maison Passive France :
http://www.lamaisonpassive.fr/spip/index.php
-Plateforme Maison Passive :
http://www.maisonpassive.be/index.php
-Un article bien fait :
http://www.notre-planete.info/actualites/actu_1847__maisons_passives_premiers_labels_français.php
-Annuaire Maison Passive :
http://www.passivhausprojekte.de/projekte.php
-RT 2020 :
http://rt2012-leguide.com/prochaine-rt-la-reglementation-thermique-2020-ou

Une lecture très instructive :

L'isolation thermique écologique, par Jean Pierre OLIVA et Samuel COURGEY

ANNEXES :

EMPLOI DU TEMPS :

-Semaine 1 :

Pendant les deux premières semaines de mon stage, un autre stagiaire était également présent : Benjamin RAVACHOL, issu également de Polytech Annecy Chambéry mais mon ainé de trois ans. Benjamin a suivi la une formation en environnement à Polytech et a choisi derrière de se reconvertir. C'est donc dans le cadre d'une deuxième formation que Benjamin a souhaité rejoindre HELIASOL pour y effectuer son stage. Sa présence nous a permis de nous former ensemble sur des tâches comme le calcul de ponts thermiques. Cette première semaine a surtout été consacrée à l'installation des différents outils nécessaires à mon travail sur l'ordinateur de l'entreprise et à la découverte de ces outils :

Installation de Google Sketchup et du plugin Open Studio pour la création des modèles de bâtiment Energy Plus. Premier contact avec Open Studio via des tutoriauxs vidéo.

Installation d'Energy Plus et premier contact avec la documentation fournie au moment de l'installation.

Installation de Pléiades/Comfie comme outil de comparaison.

Un après-midi a été consacré à l'étude des plans d'un bâtiment qui se voit rénové pour accueillir un cabinet d'architecte avec un objectif "bâtiment passif". Le but était d'aider Franck dans un de ses projets en identifiant les différents ponts thermiques et en mesurant les linéaires relatifs à ces faiblesses. Il s'est ensuite agit dans les jours suivants de saisir ces ponts dans le logiciel THERM afin d'évaluer leurs valeurs (une "fiche apprentissage" en annexe sera consacrée à ma découverte de ce types de calcul).

Nous avons également cette semaine là reçu un représentant d'une société active dans le solaire thermique, qui est venu nous présenter de nouveau produits dans leur gamme de ballons solaires.

-Semaine 2 :

Comme chaque semaine, au moins 50% du temps est passé sur Energy Plus, l'étude d'Open Studio n'est pas encore complète et la rédaction d'un document "Premier Pas avec Energy Plus" me prend du temps. La saisie des ponts thermiques se poursuit également. Le jeudi, Jean Luc intervient à Oïkos (association qui propose Informations, Formations et Education à l'écoconstruction) dans le cadre d'une formation à laquelle j'ai du coup pu assister.

-Semaine 3 :

Les progrès avec Energy Plus se font sentir tandis que la logique du paramétrage m'apparait plus clairement, l'étude est maintenant plus concentrée sur le module IDF Editor depuis lequel se paramètre l'essentiel du modèle.

-Semaine 4 :

Je me lance dans la rédaction d'une grosse notice concernant la saisie détaillée des fenêtres et de leur occultation.

J'accompagne Jean Luc pour une journée à faire le tour d'un ensemble d'appartement dont les propriétaires ont fait, par l'intermédiaire du syndicat de copropriété, une demande pour un Diagnostic de Performance Energétique (DPE). Dans un schéma collectif, ces DPE se font sur facture et chaque visite dure 20 minutes (on réclame les factures, on regarde le système de diffusion de la chaleur, le ballon d'ECS et on constate les aménagements par rapport au plan initial de l'immeuble).

-Semaines 5 :

Mon temps se partage entre Energy Plus et la saisie des DPE avec le logiciel FISA DPE auquel je suis très rapidement formé. Certains des DPE ne pourront-être réalisé sur facture, du fait parfois de factures manquantes, mais aussi lorsque l'occupation du logement est trop irrégulière (un DPE sur facture n'est alors absolument pas représentatif). Ce sont de ces DPE que j'hérite afin d'en faire la saisie détaillée selon la "méthode 3CL" qui elle est basée sur des choses plus précises comme la composition des parois, les contacts, le système de chauffage, etc.

-Semaine 6 :

La sortie de la semaine a lieu le vendredi 13 mai où j'accompagne Franck à Ste Catherine. La communauté de commune a lancé un "concours" entre plusieurs groupes coordonnés par un architecte pour la réalisation d'un pôle d'activités (bureaux et ateliers) dans le village précédemment cité. Chaque groupe doit être composé de sorte de réaliser les études thermiques, les études "fluides", l'estimation des frais, la prise en compte du paysage, etc. HELIASOL intervient donc au sein de l'un de ces groupes. Cette première réunion a pour but de préciser les attentes du client en présence des différentes équipes en compétition. Je consacrerai une "fiche visite" à ce projet en annexe de ce rapport.

Je me lance également dans la rédaction de notices expliquant le fonctionnement de deux programmes auxiliaires d'Energy Plus : Slab et Basement qui permettent respectivement d'étudier une dalle sur un terre plein et une dalle sur sous sol. Dans les deux cas il s'agit par une considération précise du sol d'établir un profil de température mensuel subit par la surface externe du plancher de notre bâtiment.

-Semaine 7 :

Ma compréhension d'Energy Plus en arrive enfin au stade où il devient possible de s'attaquer à une simulation complète d'un problème simple. Franck me confie donc un exercice : la Maison Cube. Cette maison aux formes simples a été simulée avec d'autres outils comme PHPP et Pléiades. Le but est donc la comparaison afin de valider notre compréhension jusqu'ici. Ce travail fera l'objet d'un développement dans ce rapport.

Le vendredi, j'accompagne Franck à St Etienne où un rendez vous est pris avec l'architecte Julien RIVAT qui souhaite installer ses bureaux dans un bâtiment en rénovation avec un objectif de certification "maison passive". Lé réunion se fait en présence de Richard GELY, de l'entreprise BENETIERE Pierre, installateur chauffagiste. L'objet de cette rencontre est de discuter des solutions d'isolation retenues ou encore de la prise en compte d'une cage d'ascenseur dans la zone chauffé soumise à certification Une cage d'ascenseur doit

en effet être bien ventilée et ceci se fait généralement de manière naturelle (source de déperditions pour le projet). On évoque aussi les idées de systèmes de chauffage, envisageant le recours à la géothermie peu profonde couplée à une PAC pour la production de l'eau chaude, s'intéressant à la ventilation double flux et discutant d'une surventilation commandée par des capteurs de présence et de CO2 (inconvénient : entretient, étalonnage, changement des composés chimiques).

C'est également durant cette semaine qu'Eric m'a formé via Skype à l'utilisation de Visual TTH, un logiciel comparable à Perrenoud pour ce qui est du rôle qu'il joue dans les calculs basés sur la règlementation thermique. Eric était alors surchargé par un certain nombre de projets urgents et ma tâche allait donc consister à saisir quelques-uns de ses projets sur VTTH. Après une demi-journée de formation je me lance dans un premier sujet tout en ayant Eric à disposition sur Skype en cas de question.

-Semaine 8 :

Une semaine passée sur les saisies VTTH et sur la simulation de la Maison Cube que je saisie à nouveau sur Pléiades. La difficulté se situe principalement dans les recherches des variables de sortie d'Energy Plus qui constituent des valeurs comparables aux résultats de Pléiades et de PHPP.

-Semaine 9 :

La journée de mardi se passe à Montélimar où Franck souhaite assister dans la matinée au test d'étanchéité de l'un de ses clients. Le client en question est architecte et a décidé de rassembler pour l'occasion les différents acteurs de son projet afin qu'ils puissent tous assister au test qui se conclue par un buffet. Ce test intervient tandis que la façade et les aménagements intérieurs ne sont pas encore terminés afin de permettre la correction des défauts d'étanchéité. Cette journée est donc l'occasion pour moi d'observer enfin concrètement des solutions constructives (ossature bois avec remplissage ouate de cellulose) que je côtoie lors de mes simulations. Je me servirai de cette expérience pour la rédaction de deux "fiches apprentissage" sur la construction bois et l'étanchéité à l'air des bâtiments.

Durant l'après-midi nus nous rendons sur un terrain où un client de Franck souhaite construire une maison passive. Le but de cette visite est d'abord pour Franck de rencontrer son client afin de découvrir ses motivations, son intérêt pour l'utilisation de matériaux les plus écologiques possible, ainsi que les sacrifices qui peuvent être envisagés (notamment budgétaires) pour atteindre l'objectif passif. Notre visite sur le terrain permet à Franck de mesurer précisément les dimensions du terrain tenant compte de la forêt voisine, de sa pente, de constater l'orientation et de faire un relevé de masques.

Mon travail personnel tourne autour de la comparaison de la Maison Cube, j'établis des tableaux Excel et des graphiques afin de comparer les résultats d'EP avec ceux de PHPP et de Pléiades.

-Semaine 10 :

La semaine est principalement consacrée à la conclusion de l'exercice Maison Cube. Je m'occupe également d'un projet Visual TTH pour Jean Luc. Ayant depuis mon travail pour Eric, rendu la licence d'utilisation, la saisie s'effectue sur Excel (les tableaux Visual TTH autorisent en effet très bien le collage d'un tableau Excel et c'est même un moyen très pratique de saisir ce genre de projet dès lors que l'on respecte scrupuleusement la syntaxe).

-Semaine 11 :

Il reste une semaine pour les différents concurrents au projet des locaux d'activités de Ste Catherine afin de boucler le dossier anonyme qu'ils vont présenter au jury. Le groupe de Franck se réunit donc mardi dans les locaux du bureau d'étude fluide afin de planifier une semaine intense de travail. Jusqu'ici l'essentiel du travail avait été la charge de l'architecte qui a réalisé les plans du bâtiment en accord avec le cahier des charges et qui le présente aujourd'hui aux membres du groupe. Il est décidé de la répartition du travail et de l'indemnité budgétaire fournie à chaque groupe si celui-ci n'est pas retenu. Comme déjà annoncé précédemment, je consacrerais une "fiche visite" à ce projet particulier.

Du côté d'Energy Plus, maintenant que l'ensemble de notices s'est épaissi il apparaît urgent de mettre en place un système de référencement efficace et des guides "overview" des possibilités du logiciel et de la notice associée à cette possibilité.

-**Semaine 12 :**

Une fois l'ordre fait dans mon travail, il est temps pour moi de m'attaquer à un aspect d'Energy Plus qui m'avait jusqu'à ce jour effrayé : la réalisation de systèmes de chauffage, ventilation et climatisation. Energy Plus permet en effet de saisir très précisément les systèmes de distribution du chaud et du froid ainsi que leur couplage avec la ventilation naturelle et interzone. Pour connecter les équipements entre eux il est nécessaire sous EP (pour faire simple) de définir des nœuds d'entrée et de sortie. Cette saisie est très longue et compliquée et la documentation fournie avec le logiciel ne semble pas proposer de tutorial efficace. L'approche se fait donc via "deux exemples files" également fournis avec l'installation du logiciel et choisis pour leurs intérêts respectifs. L'un permet l'étude d'une ventilation double flux et d'un circuit hydraulique de chauffage. L'autre permet d'étudier un système de chauffage aéraulique desservant plusieurs zones et couplé à la ventilation naturelle et interzone via le modèle de calcul Airflow Network.

-**Semaine 13 :**

L'étude des exemples se poursuit et me demande beaucoup de temps et de concentration.

La visite d'un représentant de la société autrichienne Okofen me permet cependant de me changer les idées un moment. Le but de cette visite est de présenter à Franck et à Jean Luc des nouveaux modèles de chaudières bois aux puissances nominales plus petites, étant donc peut-être plus adaptées à l'utilisation d'un tel système dans une maison aux (très) faibles besoins de chauffage (BBC et passif). Le bois est en effet un combustible moins "flexible" que le gaz dont on peut facilement moduler l'arrivée pour répondre à des besoins très variables. La discussion est très technique et me permet de me faire une idée précise du fonctionnement du bruleur dans une telle chaudière et des systèmes de régulation disponibles.

-**Semaine 14 :**

Afin d'illustrer mes notices je me lance dans le dessin schématique des systèmes rencontrés dans les "example files" étudiés. Un exemple sera disponible en annexe.

Mercredi, je me rends avec Franck à Feurs près de St-Etienne où a lieu, dans le cadre des 5 à 7 de l'éco construction, une conférence sur l'étanchéité à l'air des bâtiments. Une conférence qui apportera d'ailleurs du contenu à la "fiche apprentissage" consacrée au sujet.

Jeudi et vendredi, je propose à Franck de l'aider bénévolement sur le chantier de la maison passive qu'il se construit dans le Jura. Ces deux jours de travail seront rattrapés sur mon temps libre au profit d'une expérience très enrichissante. Franck construit sa maison en ossature bois avec une isolation en paille et laine de bois. L'objectif de ces deux jours sera de faire des tests de mise en place de la paille avec Jean-Luc et Benjamin (revenu pour l'occasion) afin d'établir des consignes de travail pour les chantiers participatifs que Franck organise les weekends suivants de juillet et d'aout. Une annexe sera consacrée à cette expérience.

-**Semaine 15 :**

Le lundi, on reçoit au bureau la visite de deux commerciaux d'Alpha Innotec, filiale d'un groupe suisse Schultess (activités : techniques de chauffage, techniques de refroidissement et techniques de lavage (activité initiale du groupe)). La filiale est quand à elle active dans les secteurs de l'aquathermie, des chauffes eau thermodynamique, des pompes à chaleur et dans le solaire thermique. Les représentants sont ici pour présenter leurs gammes de pompes à chaleur, l'occasion pour moi de me replonger dans mes souvenirs au sein de Polytech.

Pour ce qui est d'Energy Plus, il est nécessaire de mettre à jour quelques notices après compréhension de nouvelles choses et il est temps de se lancer dans la rédaction des notices concernant les acquis obtenus après étude des "example files". Après avoir mis à jour de vieux documents, je commence donc la rédaction de mes découvertes sur les systèmes HVAC (heating ventilation and air conditionning) et les Airflow Network (couplage des systèmes HVAC avec la ventilation naturelle et interzone).

-**Semaine 16 :**

Maintenant que j'ai compris une part de la logique de saisie des systèmes de chauffage et ventilation sous Energy Plus, il est l'heure de se lancer dans la mise en pratique en prenant pour exemple la maison de Franck qui est un exemple classique du type de systèmes qu'HELIASOL est amené à rencontrer sur ses projets de maisons passives. Franck et moi travaillons un peu ensemble afin d'émettre des idées quant aux objets Energy Plus à utiliser.

-**Semaine 17 :**

Saisie d'un système d'après une première hypothèse à propos des objets Energy Plus à utiliser qui s'avèrera ne pas être la bonne. La recherche des objets utiles à la réalisation du système de Franck passe par la rédaction des notices associées à ceux qui sont nouveaux. Les difficultés rencontrées à cette étape nous obligent également à exposer le problème au forum Yahoo d'Energy Plus, sans grand succès malheureusement.

-**Semaine 18 (à venir):**

Je dispose de 3 semaines de vacances qui me permettent de finir mon rapport de stage, mettre un peu d'ordre dans mes notices EP, préparer ma soutenance et préparer une formation que je présenterai à l'équipe d'HELIASOL à la fin de ma dernière semaine. Bien que cette 18ème semaine n'est pas encore été vécue, son programme est prévisible, partagé entre une formation, ma soutenance et l'avancement de l'étude du système de chauffage ventilation de Nantey.

EXTRAITS DE NOTICE ENERGY PLUS :

A) Extrait d'une notice concernant le paramétrage des fichiers de sortie :

II) Le format des Outputs :

A) Overview des fichiers de sortie concernés par cette notice :

On a déjà évoqué dans d'autres notices les nombreux formats de fichiers générés par Energy Plus ainsi que leurs utilisations. On rappelle ici les fichiers essentiels à l'exploitation d'une simulation sous EP et on précise ceux auxquels on va pouvoir apporter des modifications à l'aide de l'IDF Editor via l'utilisation du groupe « Output Reporting » décrit dans ce document.

Fichiers de sorties indispensables à l'exploitation		
Format	**rôle**	**modifiable ?**
.err	présente les erreurs apparues lors de la simulation et leurs effets sur cette dernière	**non**
.bnd	permet de vérifier la saisie des nœuds et des branches des systèmes de chauffage et de ventilation	**non**
.csv	présente un tableau de mesures horaires ou mensuelles des variables souhaitées par l'utilisateur	**oui**
.html	propose une série de tableau très organisée formant le fichier d'exploitation par excellence	**oui**
.rdd	liste les différentes variables accessibles à l'utilisateur en fonction du système saisi	**non**
.sql	s'exploite avec Open Studio Result Viewer pour comparer des variables sur différentes périodes	**oui**
.svg	produit par le programme auxiliaire HVAC Diagram, on a un schéma avec une logique de couleur du système de chauffage/ventilation	**non**

On va se concentrer principalement sur la gestion des variables et sur la création d'un fichier de sortie html le plus proche de nos envies.

B) Changement de format et d'unités :

On rappelle que certaines classes agissent plus sur le format du fichier de sortie et sur les unités utilisées que sur son contenu.

En créant un objet dans la classe « **OutputControl:Table:Style** » on va s'autoriser à rajouter nos propres variables sur le fichier de sortie au format HTML via la classe « **Output table Monthly** », on y créera des objets par la suite qui iront s'insérer sur le même fichier HTML que les rapports

préconstruits appelés par la classe « **Output Summary Reports** ». **Si de plus on paramètre "Unit Conversion" sur "JtokWh", les énergies fournies par le fichier HTML seront données en kWh**.

La création d'un objet dans la classe « **Output:SQLite** » (option type = simpleandtabular) permet la création d'un fichier SQL exploitable depuis open studio Result Viewer. Il sera particulièrement intéressant ici de pouvoir consulter les courbes correspondant aux variables définies dans « **Output :Variable** » et ce pour des périodes de temps choisies lors de la définition des « Sizing Periods ».

Output :Surfaces :list : En créant un objet dans cette classe et en sélectionnant « details » on entraine la création dans le fichier .eio d'informations concernant les surfaces du problème. Dans les propriété du fichier .eio, définir que celui-ci s'ouvre avec un tableur.

Output :Diagnostics : Cette classe a un rôle de débugging via notamment les options « DisplayExtraWarning » (permet un rapport d'erreur plus complet), « DisplayUnusedScedule » et « DisplayUnusedObjects » (repérer un objet non utilisé).

III) La variable de sortie :

Avant d'établir un rapport, il convient de bien saisir autour du quoi celui-ci va être créé. Parlons donc des variables en généralet des classes qui nous donnerons accès à ces dernières.

A) Accessibilité :

Le fichier .rdd :

On avait évoqué dans la notice RetD10_03 Premiers Pas Energy Plus qu'il était impossible d'accéder aux variables sans avoir simulé une première fois. En effet lors de la première simulation, EP fait en quelque sorte le tour de tout ce qu'il peut mesurer pour l'utilisateur d'après la saisie que celui-ci a effectué, il génère ensuite une liste de variables disponibles dans le fichier .rdd.

B) Appeler une variable :

La classe Output:Variable :

Ces variables sont ensuite disponibles pour une seconde simulation dans plusieurs classes, notamment la classe « Output:Variable » où l'on choisit celles que l'on voudra voir apparaître dans le fichier au format .csv ainsi que le pas de la mesure (toutes les heures ou tous les mois).

Pour limiter le nombre de mesures on peut aussi mettre en place un scénario dans le paramètre « schedule name ». EP mesurera la variable dès lors que la valeur donnée le scénario est supérieur à 0.

IV) Les rapports préconstruits :

L'obtention d'un tableur est utile du fait de la possibilité de retravailler les valeurs obtenues. Cependant la lecture n'est pas facile et le document ne fait pas très professionnel. Le fichier HTML propose de son côté des tableaux de variables organisés. Intéressons-nous d'abord aux rapports préconstruits qui permettent d'obtenir très rapidement un résultat lisible, propre et une navigation facilitée entre les différentes partie de ce rapport.

A) Output Table Summary Reports (InputOutputReference p2230) :

Cette classe du fichier idf permet de mettre en place des sous-rapports complets et reliés à un sommaire par des liens hypertextes et un sommaire « table of contents ». On ne détaillera pas ici tous les « Summary » disponibles, qui font l'objet d'une description dans la documentation Energy Plus à la page indiquée ci-dessus. On redonne néanmoins les 4 rapports auxquels on aura systématiquement recours :

-**Annual Building Utility Performance Summary :** Ce rapport regroupe un résumé des différentes consommations du bâtiment triées par usages et selon la source. Pour plus de détails on se référera au tutorial indiqué ci-dessus.

-**Input Verification Results Summary :** Permet une vérification rapide des données d'entrée et accès rapide aux surfaces et volumes mis en jeu. On pourra vérifier les données de site, l'exposition des façades et le découpage des zones.

-**Envelope Summary :** Permet d'accéder à la conductance thermique (U) de chaque surface, opaque ou vitrée.

-**Climatic Summary :** On a un résumé très complet des données météo.

On remarquera également l'option « **AllSummary** » qui permet d'un seul clic de faire apparaître sur le fichier HTML tous les « Summary Reports » disponibles.

B) Output Table Monthly (InputOutputReference p2234) :

On ouvre la bibliothèque « StandardReports.idf » dont les objets permettent de calculer de nombreuses données telles que les consommations de chauffage, de refroidissement, celles des auxiliaires, etc. On y trouve 59 fichiers préconstruits que l'on pourra copier selon ce qui nous intéresse et coller dans la bibliothèque du projet. Les objets seront collés dans la classe OutputTableMonthly et commanderont l'exécution des calculs correspondant lors de la simulation. Le résultat de ces calculs ira s'ajouter à la suite des « summary reports » sur le fichier HTML. On conseille dans un premier temps de copier/coller les objets « Zone Heating Summary » et « Zone Cooling Summary » qui donne accès aux charges mensuelles en chauffage et refroidissement.

V) Rapports personnalisés :

On va maintenant créer nos propres rapports basés sur les variables disponibles. On agit depuis la classe Output Table Monthly mais cette fois sans avoir recours aux rapports fournis par la bibliothèque « StandardReports.idf ». HELIASOL pourra créer ses propres bibliothèques de rapports.

A) Démarche :

On voit d'abord que l'on peut choisir la précision de la mesure via le nombre de chiffres après la virgule. S'en suit après une alternance de 25 couples « Variable or Meter Name / Aggregation Type for Variable or Meter ». On va donc pouvoir créer des tableaux allant jusqu'à contenir 25 mesures différentes.

Dans « **Variable or Meter** », on choisit la donnée qui nous intéresse (température, rayonnement, consommation, marche/arrêt, présence, etc.) parmi les choix proposés après une première simulation.

On précise ensuite dans « **Aggregation Type for Variable or Meter** » quel type de mesure nous intéresse parmi les choix suivants :

Mesure Simple :

-SumOrAverage : Somme ou moyenne (EP est intelligent, il donnera par exemple la somme pour des besoins de chauffage, la moyenne pour une temperature)
-Maximum : valeur mensuelle maximum, lorsque l'on utilize cette option pour une variable que l'option précédente aurait sommé, la mesure est divisée par le pas de temps. Exemple : le maximum de besoins d'énergie mensuel n'a pas de sens, dans ce cas-là Energie Plus fournira l'appel de puissance horaire maximum rencontré dans le mois.
-Minimum : même logique que maximum.
-HoursNonZero : nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est non nulle.
-HoursZero : nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est nulle.
-HoursPositive nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est strictement positive.
-**HoursNonPositive** nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est négative ou nulle.
-**HoursNegative** nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est strictement negative.
-**HoursNonNegative** nombre d'heures dans le mois telles que la mesure est positive ou nulle.

Mesure conditionnelle :

Energy plus propose ensuite une mesure conditionnelle avec un modèle avancé appelé « **Advanced Aggregation Types** ». L'ordre des variables a alors une importance capitale. Il est en effet possible de faire dépendre la mesure d'une variable du résultat de la mesure de la variable saisie précédemment.

Une mesure conditionnelle pourra et devra faire suite à 1 mesure simple et les possibilités dépendent alors de la mesure simple que cette mesure conditionnelle suit.

Distinguons deux cas de mesure conditionnelle pour simplifier l'explication et concentrons-nous bien.

-**cas 1 :** la mesure conditionnelle suit une mesure simple de type « maximum ou minimum ».

-**cas 2 :** la mesure conditionnelle suit une mesure simple de type « Hours[…] » (parmi les 6 possibilités vues ci-dessus dans la partie mesure simple).

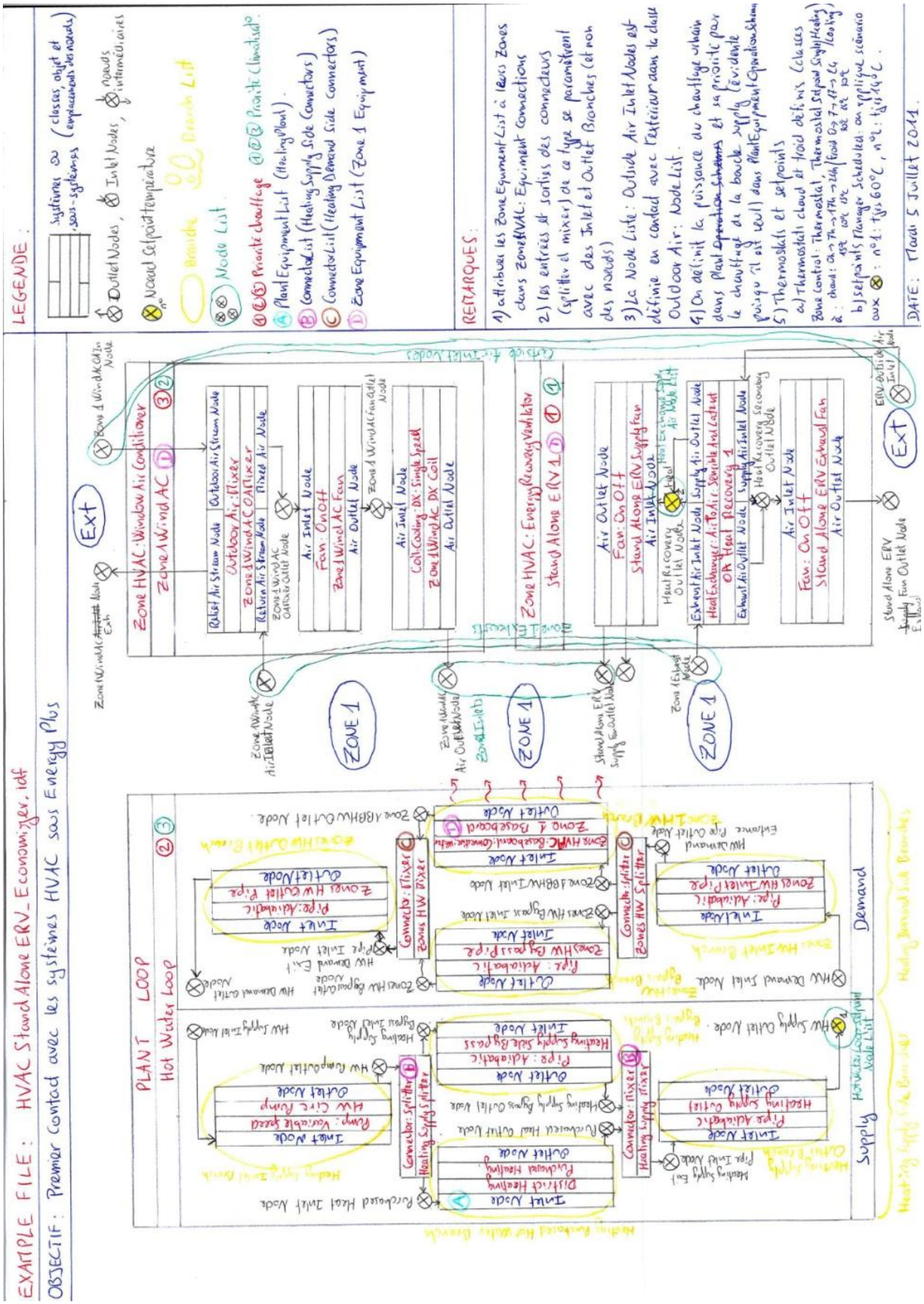
Dans notre 1er cas : on ne dispose que d'une seule possibilité de mesure conditionnelle : ValueWhenMaximumOrMinimum. On mesurera ainsi pour une variable 2 sa valeur lorsque qu'on variable 1 définie auparavant avec un type « maximum » ou « minimum » vérifiera cette condition d'extrema. Plusieurs variables associées à un type ValueWhenMaximumOrMinimum pourront suivre une unique variable associée à un type « maximum » ou « minimum ». En somme, quand Energy Plus rencontre une variable N qu'il est sensé mesurer selon le principe ValeWhenMaximumOrMinimum, il va rechercher dans les lignes précédentes (N-1, N-2 etc…) la dernière variable pour laquelle on lui a demandé de mesurer les valeurs extrêmes puis mesurer la valeur de la variable N durant le même pas de temps où la variable de type maximum ou minimum (trouvée en N-1 ou N-2, etc .) rencontre cet extrema mensuel. Mettre une croix à la suite de ce paragraphe si vous avez déjà mal à la tête : X.

Dans le 2ème cas la logique est similaire sauf que l'on dispose de plus de choix pour la mesure conditionnelle qui de plus pourra être utilisée à la suite d'un plus grand nombre de types de mesure simple. La syntaxe de notre variable conditionnelle est du type : « […]DuringHoursShown » et les choix suivants sont disponibles :

-**SumOrAverageDuringHoursShown**
-MaximumDuringHoursShown
-MinimumDuringHoursShown

On pourra donc par exemple sommer les mesures d'une variable 2 pendant les heures ou les mesures d'une variable 1 sont positives.

B) Schéma Explicatif du système de chauffage d'un "example file", issu de mes notices :



Fiche Apprentissage : LE PASSIF :

A) Généralité :

1) Définition du label :

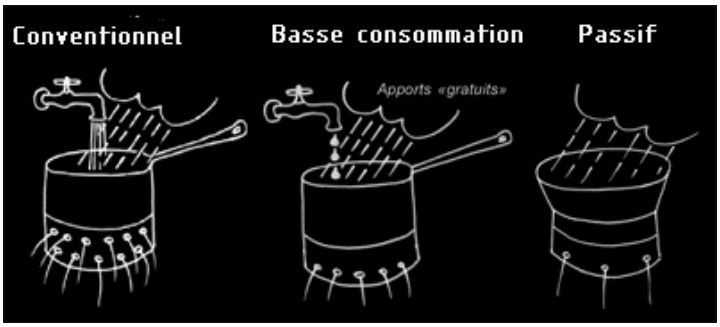
Le label Maison Passif, hérité du label allemand Passiv'Haus, a pour but une diminution drastique des consommations de chauffage/refroidissement par la mise en place d'une enveloppe permettant de freiner considérablement les pertes de calories et frigories (confort en été) ainsi qu'en assurant une étanchéité à l'air de haut niveau.

Il s'agit pour cela de favoriser les apports gratuits en hiver par une position intelligente des vitrages et du système de récupération de chaleur sur l'air extrait. En été ces mêmes systèmes permettront de récupérer du froid sur l'air extrait et il s'agira de mettre en place une occultation efficace pour éviter les surchauffes et garantir le confort.

Les consommations d'énergie primaire totale, équipement inclus (éclairage, électroménager, auxiliaires de ventilation) sont également diminuées.

Finalement, voici les trois critères à respecter :

-**Besoins en chauffage < 15 kWh/(m2.a)** ou puissance de chauffe < 10 W/m2
Pourquoi cette valeur ? Selon Etienne Vekemans : "parce que la pratique (et la théorie) montre que jusqu'à cette valeur, on peut utiliser l'air comme fluide caloporteur".
-**Étanchéité de l'enveloppe : n50 ≤ 0,6 h-1**
Cf. fiche apprentissage sur l'étanchéité à l'air des bâtiments.
- **Besoins en énergie primaire totale < 120 kWh/(m2.a)**



2) La Maison Passive France :

L'association "**La Maison Passive France**", créée en 2006 fait la promotion du standard "européen" de maison passive/Passiv'Haus. Elle veut promouvoir le concept de "construction passive " par des actions de communication, vulgarisation ainsi associant les acteurs de la construction (professionnels ou particuliers).

Elle endosse aussi le rôle d'organisme certificateur et permet la labellisation des constructions passives en France.

B) En pratique :

1) sur le chantier :

La construction passive va nécessiter une isolation importante, source d'un coût d'investissement initial plus important que pour une construction classique. D'où l'importance d'insister sur les économies réalisées années après années du fait d'une faible consommation énergétique.

Selon les conseils de la **Maison Passive France** (association qui certifie), le choix des matériaux et menuiseries devra permettre d'atteindre les performances suivantes :

-la valeur U doit être inférieur à 0,15W/(m2K) pour les cloisons opaques.
-la valeur U des fenêtres et autres parois translucides doit être inférieur à 0,8 W/(m2K).

La construction devra être réalisée avec soin et les ouvrants placés efficacement. Quelques conseils encore :

-les parois translucides avec une orientation ouest ou est (±50°) ainsi que les parois translucides avec une inclinaison inférieure à 75° par rapport à l'horizontale ne doivent pas représenter plus de 15% de la surface utile (habitable) correspondante. Sinon, elles doivent être équipées d'une protection solaire temporaire avec un facteur de protection de 75%.
-Pour les fenêtres orientées au Sud, la limite est fixée à 25% de la surface utile.

Si le concepteur n'a pas l'expérience de construction passive, l'association le conseille et, si nécessaire, le suit jusqu'à l'aboutissement du projet.

Afin d'atteindre le niveau d'étanchéité à l'air souhaité, **on ne se contentera pas d'un test d'étanchéité à la fin du chantier**. Dès lors que l'ossature, l'isolation et l'enveloppe étanche sont en place, il convient de faire un test tant qu'il est encore temps d'apporter des corrections au travail réalisé. On identifiera ainsi les lieus de fuite et on prendra les dispositions nécessaires.

Pour la même raison, afin d'éviter les mauvaises surprises, les documents nécessaires à l'obtention du label doivent être soumis à examen pendant la phase de conception, afin que des corrections ou des suggestions puissent être apportées le plus tôt possible.

2) la certification :

Le logiciel **PHPP (Passive House Planning Package)** est le fer de lance de la maison passive. Il permet non seulement de concevoir l'habitation pour s'assurer qu'elle respectera les très faibles consommations énergétiques recherchées, mais est également l'outil de validation de la construction, servant de base pour l'attribution d'une certification.

PHPP 2007

Il s'agit d'un logiciel payant sous forme d'un **tableau Excel** très puissant. Le calcul n'est pas celui d'une simulation dynamique puisqu'il s'agit d'une méthode d'approximation mensuelle. Cette méthode est accessible à la lecture dès lors que l'on déverrouille les centaines de cases consacrées au calcul. Le logiciel est fourni avec un gros manuel qui permet à l'occasion de la description du logiciel de revenir sur de nombreux aspects pratiques de la construction passive.

Le fichier PHPP est donc une part importante du dossier de certification et fera l'objet d'une vérification par un autre bureau d'étude anonyme mandaté par la maison passive France. On appelle ça une **certification à l'aveugle**. Lorsque HELIASOL veut obtenir la certification pour un de ses projets, il envoi le dossier à la Maison Passive France qui va le transmettre à un autre bureau d'étude, dont HELIASOL ne connaîtra jamais le nom. Le dossier va donc ainsi être contrôlé.

Ce dossier devra contenir :

-le fichier PHPP (format informatique) et une copie papier signée par celui qui a saisi le bâtiment de la feuille "vérification" du PHPP
-Un plan d'implantation, l'orientation du bâtiment, les masques, les plans des différents niveaux, 2 coupes minimum (longitudinale et transversale) sur lesquelles seront indiquées les compositions. (Ces documents seront fournis au format .dxf ou .dwg + une copie en pdf ou sur papier).
-certificats, références, agréments, des produits utilisés.
-détails techniques des parois et détails des jonctions
-calcul des ponts thermiques
-fiche technique du groupe de ventilation, caractéristiques de l'installation
-rapport du test d'infiltrométrie

Le prix d'une certification auprès de la Maison Passive France est très variable. Selon la taille et la complexité du bâtiment concerné, le prix pourra être de 800 à 8000 €. Il faut environ un mois à l'association pour rendre un premier avis, parfois positif et parfois négatif en cas de pièces manquantes ou de modification nécessaires pour atteindre véritablement l'objectif.

C) Les enjeux :

Un des principaux enjeux du développement du standard passif en Europe vient du fait que celui-ci a pour prétention de permettre **l'absence de système de chauffage**. Que deviennent alors les professionnels du chauffage, fabricants, installateurs, bureau d'étude spécialisés dans le dimensionnement de systèmes de chauffages, etc. ? Il est vrai que ces derniers souffriront forcément du progrès de l'homme dans l'économie d'énergie. L'évolution actuelle les amène à repenser leur approche et à envisager des produits nouveaux, aux faibles puissances adaptées pour les bâtiments aux faibles consommations, voir même à se tourner vers les systèmes de récupération de chaleur (Double Flux, Puits Canadiens hydrauliques, géothermie, etc.) et vers les systèmes utilisant l'air comme vecteur de la chaleur.

Un enjeu réside également dans la **communication** autour du bâtiment passif qui reste encore aujourd'hui très mal connu par la population. Dès lors que je me suis retrouvé dans la position d'expliquer mon stage à des personnes n'appartenant pas au secteur de la thermique du bâtiment, il m'a fallu redéfinir ce qu'est un bâtiment passif. De plus on m'a souvent fait la remarque : "c'est nul, un bâtiment à énergie positive c'est mieux" auquel je répondait qu'il n'est pas vraiment intéressant de compenser de lourde consommation de Fioul ou de gaz par une production d'électricité photovoltaïque, il demeure nécessaire de diminuer drastiquement les consommations avant de vouloir rendre un bâtiment "autonome" (qui rappelons-le fournit son électricité au réseau, un enjeux de ce type de maison est d'ailleurs la gestion des flux par ERDF).

La **RT2020** fait déjà le sujet de quelques discutions, certains espèrent que **le passif deviendra le standard**. Dès lors que l'on fait quelques recherches il s'avère que celle-ci compte se tourner vers le bâtiment à énergie positive (BEPOS). Ce qui pourrait être intéressant si ces bâtiments se voient en effet contraints par des limites comme celles données par la définition suivante :

"Le BEPOS ou Bpos, bâtiment à énergie positive. C'est une construction à très basse consommation d'énergie et qui produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme.

Pour fixer les idées un tel bâtiment dit BEPOS :

- Consomme trois fois moins, par rapport à une construction actuelle conforme à la RT 2005,
- présente une consommation de chauffage inférieure à **12 kWhep/m²/an**
- présente une consommation totale d'énergie primaire chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, tous appareils électriques confondus soit tous usages, de 100 kWh/m²/an ! "

Affaire à suivre donc !

Fiche Apprentissage : LES PONTS THERMIQUES

Cette fiche a pour but de synthétiser mon apprentissage sur le sujet des ponts thermiques. Elle s'inspire en bonne partie des explications de Franck, de son cours au format Power Point et de la formation que j'ai pu recevoir à Oïkos. Elle présentera également le calcul des ponts thermiques avec THERM. Elle sera organisée en 3 parties correspondant aux trois étapes de l'étude des ponts thermique.

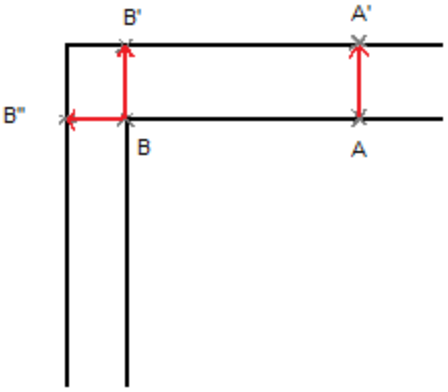
A) Comprendre ce qu'est un pont thermique et savoir les repérer :

1) Définition :

Franck a pour habitude de poser la question : qu'est-ce qu'un pont thermique ? Tout en étant convaincu d'obtenir comme réponse celle que pourrait lui donner un architecte éclairé :

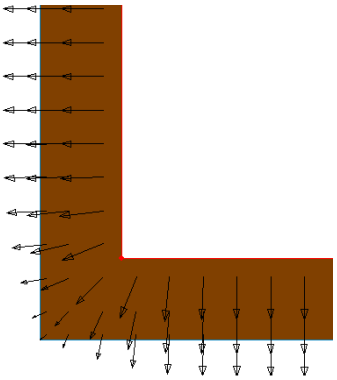
-Une faiblesse dans l'enveloppe thermique du bâtiment, un point froid.

Cette réponse est juste, on peut en effet voir les choses comme ça :



Sur le schéma ci-contre, la chaleur au point A est transmise à travers la paroi au point A'. Le point B échange quant à lui avec les points B' et B'', le transfert de chaleur est plus important, on a apparition d'un point froid.

Bien sur ce schéma est une explication simplifiée. Dans la réalité, les lignes de flux prennent cette forme :

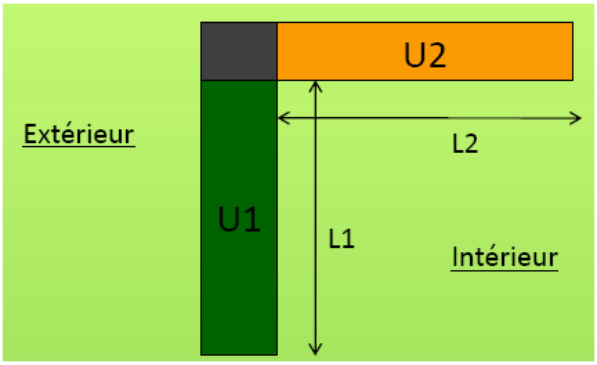


La réponse de l'architecte est donc juste mais insuffisante pour un thermicien dont la réponse devrait être (selon les mots de Franck) :

-Une correction mathématique par rapport à un modèle de calcul de déperdition thermique/

Pour comprendre cette réponse, rappelons la démarche de calcul des déperditions thermiques selon deux méthodes : en dimensions intérieurs et en dimensions extérieurs :

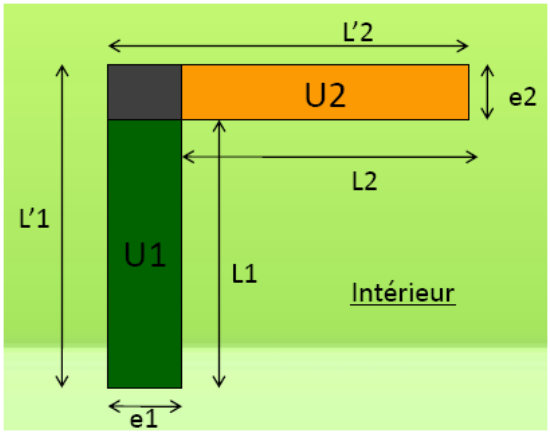
Lorsque l'on saisit un bâtiment en dimension intérieur, on fournit au logiciel les longueurs L1 et L2 du schéma ci-dessous ainsi que les U respectifs des murs, mais alors le flux passant dans la zone grisée sur le schéma est négligé.



Le pont thermique intervient pour corriger le calcul du flux comme illustré dans la formule suivante :

φ/ ΔT = (U1 x L1) + (U2 x L2) + ψ On parlera ici de ψint.

En saisissant le bâtiment en dimensions extérieurs la partie grisée est « comptée deux fois » ; Dans le cas illustré ci-dessous on compte donc trop de flux sortant, la correction sera de signe négatif.



On a donc deux façons différentes de calculer les déperditions et deux façons de corriger le calcul pour finalement obtenir le même flux. Il est donc possible de lier la valeur de notre pont thermique en dimensions intérieurs à sa valeur en dimensions extérieurs :

φ/ ΔT = (U1 x L1) + (U2 x L2) + ψInt et **φ/ ΔT = (U1 x L'1) + (U2 x L'2) + ψExt**

D'où : **ψInt= (U2 x e1) + (U1 x e2) + ψExt** et **ψExt = ψInt - (U2 x e1) + (U1 x e2)**

On retrouve le fait que ψExt peut-être négatif.

Notes : les ponts thermiques donnés par la RT2005 sont donnés en dimensions intérieurs.

2) Les différents ponts thermiques :

On peut distinguer 3 grands types de ponts thermiques :

-les ponts thermiques linéiques :

La faiblesse est linéaire, elle correspondra souvent à l'intersection entre des éléments de la construction différents. Exemples : un Angle, les liaisons Mur/Plancher (haut ou bas), les appuis de fenêtres, une liaison Mur/Refend ou Mur/Plancher intermédiaire.

Représentés par la lettre ψ, ces ponts thermiques sont exprimés en W/m.K, la valeur correspond donc au flux perdu pour chaque degré de différence par m linéaire de liaison.

-les ponts thermiques ponctuels :

La faiblesse est ponctuelle et due à un élément faisant défaut à l'homogénéité de la paroi. Exemples : Vis de fixation, traversée de poutre dans un mur. La lettre χ les désigne et l'unité est le W/K, i.e. le flux cédé par degré d'écart observé.

-les ponts thermiques intégrés :

Ils peuvent être ponctuels ou linéique et sont souvent lié à la répétition d'un motif faisant défaut à l'homogénéité de la paroi. Exemples : les chevrons ou encore l'ossature bois.

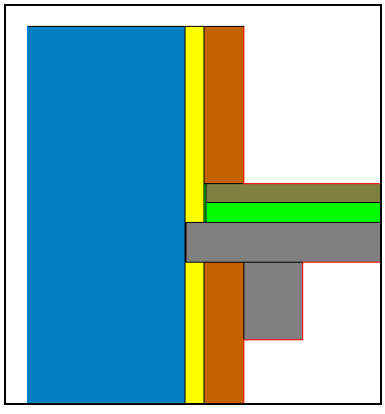
3) Repérer les ponts thermiques :

J'ai souvent été amené à repérer les différents ponts thermiques sur des plans. Le nombre de ponts thermiques différents qu'il nous faudra calculer va dépendre de la **complexité géométrique et de la complexité de la composition de l'enveloppe** (utilisation de nombreux matériaux différents). Il n'est donc pas forcément possible de considérer par exemple tout le pourtour de la liaison Mur/plancher Haut de la même manière, il sera parfois nécessaire de distinguer les mur pignon et façade dans le cas d'une liaison avec une charpente. L'angle observé au lieu de la liaison a donc son importance et il faudra distinguer différents ponts thermiques Mur/Mur dans le cas où les angles formé par l'enveloppe thermique ne sont pas tous identique. On distinguera également angles sortants et angles rentrants (le ψExt est d'ailleurs négatif dans le premier cas tandis qu'il sera positif dans le second).

B) Calculer la valeur d'un pont thermique et utiliser THERMS :

1) Le dessin et les conditions limites :

THERMS n'est pas très ergonomique quand il s'agit de dessiner mais on parvient à réaliser des cas assez complexes :



On représente la vue en coupe du pont par des rectangles ayant chacun les dimensions voulues et un matériau donné. On attribue ensuite aux limites extérieurs des conditions : résistance superficielle, température, nom de l'ambiance en contact.

Dans le cas illustré ci-dessus on a un plancher intermédiaire. Dans la direction normale à cette page le problème a des dimensions infinies. Pour ce qui est de la hauteur de mur et de la longueur de plancher à considérer, on prend généralement 1 m depuis le lieu où le flux est

perturbé. On doit avoir suffisamment de distance pour qu'on puisse observer le flux non perturbé, c'est-à-dire des lignes de flux parallèles.

Pour les conditions limites, on prendra une température extérieur à -10°C, un intérieur à 20°C et 10° pour ce qui est des locaux non chauffés. Les résistances surfaciques seront prises ainsi :

Résistance surfacique	Géométrie	Valeur (m^2.K/W)
Extérieure : Rse		0.04
Intérieur : Rsi	mur vertical	0.13
	mur horizontal sol	0.17
	mur horizontal plafond	0.1

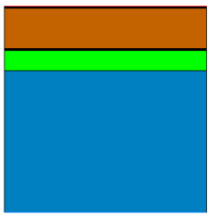
Là où on choisit d'arrêter la hauteur de mur considérée ou la longueur de plancher, on impose une condition limite : adiabatique.

2) Le principe du calcul :

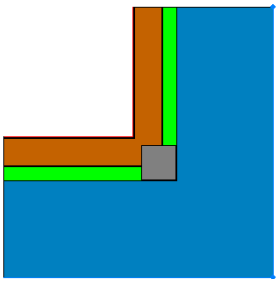
Nous allons nous placer dans un cas très simple, celui d'un angle sortant :

Pour évaluer la valeur du pont thermique il nous faut faire la différence entre le flux non perturbé, (tel qu'il est calculé par un logiciel de simulation thermique en considérant les deux façades indépendamment) et le flux perturbé en raison de la présence de l'angle. On réalise donc les deux dessins suivants :

Calcul du flux non perturbé :

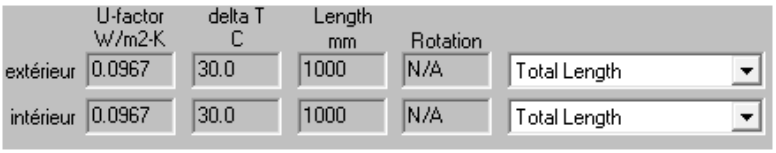


Calcul du flux perturbé :



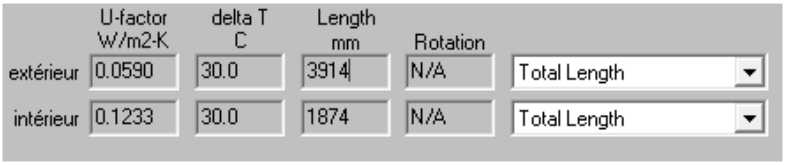
Dans un cas plus compliqué on n'aura 3 dessins. Par exemple, dans l'étude d'une liaison Mur/Plancher, il y aura le dessin complet, le plancher seul, et le mur seul.

Pour le flux non perturbé, le résultat fourni par THERMS (appelé Ufactor) correspond au U de notre paroi (remarquer que les dimensions extérieurs et intérieurs sont ici identiques) Cette valeur permet de calculer le flux non perturbé :



Appelons Unp , le U factor de ce cas non perturbé

Le logiciel THERMS calcul le U factor (W/m².K) de notre problème vu de l'intérieur et vu de l'extérieur (2 valeurs différentes selon les dimensions considérées) :



Appelons Upi et Upe , les U factor du cas perturbé en dimensions intérieur et extérieur.

Ici le flux cédé par l'intérieur est reçu par l'extérieur sur une surface plus grande, etant ramené au m² le U factor calculé pour l'ambiance externe est plus petit que celui calculer sur l'ambiance interne.

On peut donc dresser le tableau suivant pour le flux perturbé :

Ambiance	U	Long totale	L1 mm	L2 mm	Delta T
Intérieur	0.1233	1874	937	937	30
Extérieur	0.059	3914	1957	1957	30

Remarquer :

0.1233 x 1874 = 0.059 x 3914

Ici, distinguer L1 et L2 n'est pas très important mais cela le deviendra lorsque l'on aura un intérieur en contact avec l'extérieur selon L1 et avec un LNC (Local Non Chauffé) selon L2.

On calcul donc [W/m.K] :

φ(non perturbé en dimension int)/ ΔT = (Unp x L1) + (Unp x L2)
φ(non perturbé en dimension ext)/ ΔT = (Unp x L1') + (Unp x L2')
φ(perturbé en dimension int)/ ΔT = (Upi x L1) + (Upi x L2)
φ(perturbé en dimension ext)/ ΔT = (Upe x L1') + (Upi x L2')

Ces flux correspondent au transfert de puissance par m linéaires de liaison.

alors ψInt = φ(perturbé en dimension int)/ ΔT - φ(non perturbé en dimension int)/ ΔT
et ψExt = φ(perturbé en dimension ext)/ ΔT - φ(non perturbé en dimension ext)/ ΔT

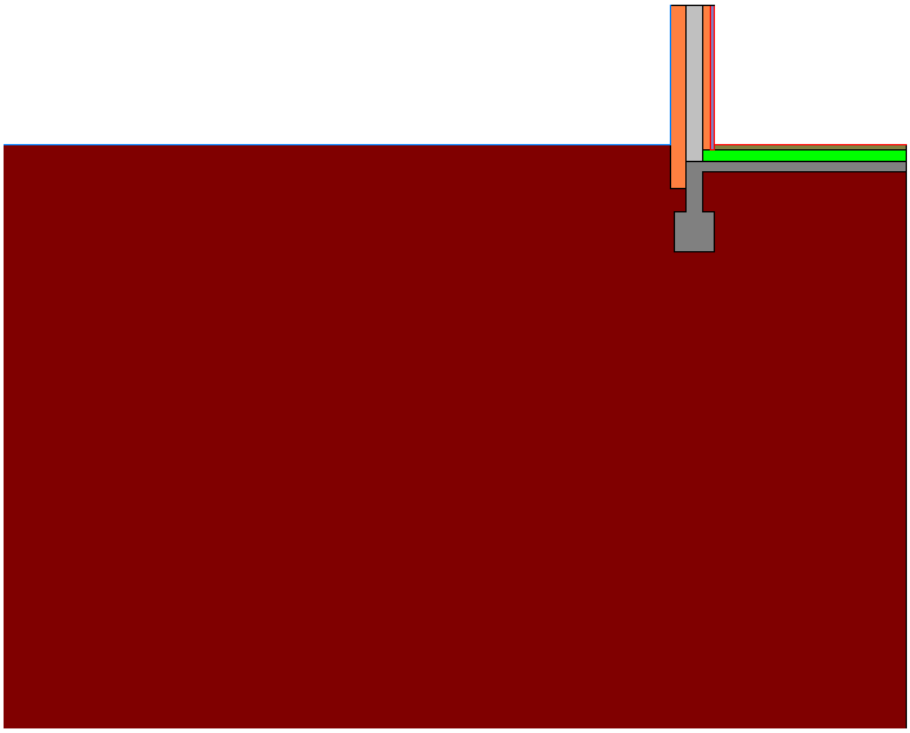
3) Cas plus complexes :

Sans pour autant les traiter, remarquons qu'il y a un grand nombre de cas beaucoup plus complexes :

-Lorsque l'on a par un exemple un angle formé par deux murs aux compositions différentes, il faudra distinguer un intérieur 1 et un intérieur 2 afin d'accéder aux U factor correspondant réciproquement aux longueurs L1 et L2.

-Lorsque l'on a deux ambiances différentes en contact avec l'intérieur (présence LNC), on prendra soin de corriger le ΔT considéré, on distinguera bien les longueurs L1 et L2.

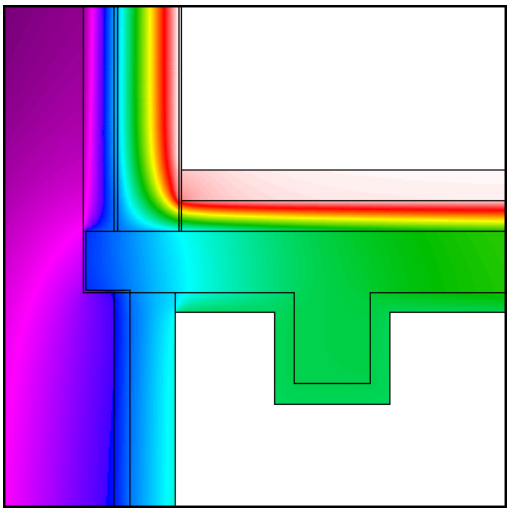
-Lorsque l'on étudie la liaison Mur/Plancher bas, on devra considérer un morceau de sol. Le calcul est alors soumis à une norme bien particulière : L'ISO 10211:2007 (Ponts thermiques dans les bâtiments -- Flux thermiques et températures superficielles -- Calculs détaillés), que je ne détaillerai pas ici, voici simplement une illustration permettant de se faire une idée de la particularité du cas :



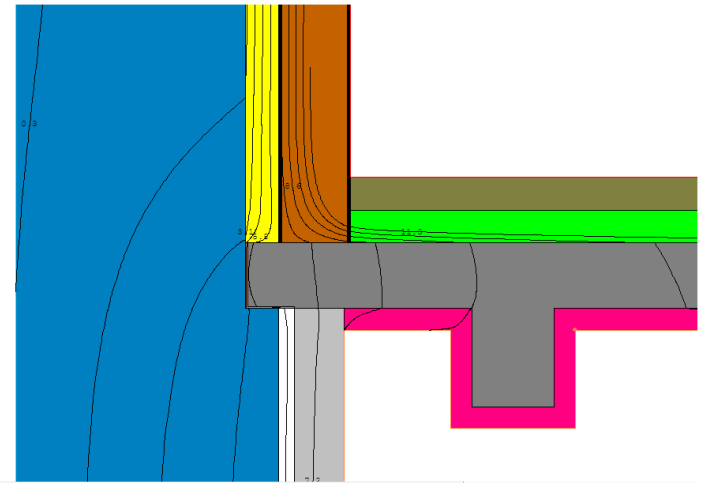
L'image a été tronquée, le morceau de sol considéré est encore plus grand.

4) Résultats annexes :

Le logiciel THERM permet aussi d'obtenir des résultats sous forme de dessin comme par exemple la répartition des températures :



Ou encore les isothermes :



Ou les lignes de flux, la densité de flux, etc.

C) L'utilisation du résultat en STD :

1) Dimensions intérieurs ou extérieurs :

De nombreux logiciels proposent, pour saisir les ponts thermiques, de choisir ceux-ci dans des grands tableaux de valeurs. On se déplace dans les table aux de la RT2005 selon la géométrie rencontrée, le matériau, la valeur de la résistance thermique, etc. Cependant on se retrouve parfois dans des cas non traités ou les cas traités peuvent donner des résultats trop approximatif pour un problème où la précision de calcul est importante. On recoure alors à THERM.

L'essentiel est de garder en tête que :

-Les ponts thermiques de la RT sont en dimensions intérieurs.
-Les ponts thermiques saisis sous Pléiades le seront en dimension intérieurs
-Les ponts thermiques sous PHPP sont en dimensions extérieurs.
-On utilisera les valeurs en dimensions intérieurs pour mettre en place une surface déperditive équivalente sous Energy Plus (cf. partie suivante).

2) Les ponts thermiques sous Energy Plus :

Il n'existe aucun objet dans EP dédié à la saisie des ponts thermiques, on utilise donc une méthode approximative. Il s'agit de créer une (ou plusieurs) sous surface(s),i.e. une surface associée à un mur porteur, cette surface devra être opaque et être à l'origine d'une fuite de chaleur correspondant à la fuite par les différents ponts thermiques. Il s'agit donc d'utiliser les valeurs de ponts calculées précédemment en dimensions intérieurs, de les multiplier par les linéaires correspondant afin d'obtenir une perte de puissance $\Phi/\Delta T$ En W/K. On créé ensuite une surface de résistance thermique R et d'aire A de sorte que $R \times A = \Phi/\Delta T$. Cette surface sera une porte (objet EP Door) avec sa composition (objet EP construction) dont l'unique matériau sera un objet EP de type Material :NoMass :. L'inconvénient : on soustrait ainsi à l'enveloppe un morceau pour y mettre à la place un objet sans masse défini uniquement par sa résistance thermique, on perd donc de la matière, de l'inertie.

Fiche d'Apprentissage : ETANCHEITE A L'AIR DES BATIMENTS :

Ce document a pour but de résumé ce que j'ai pu apprendre principalement en deux occasions :

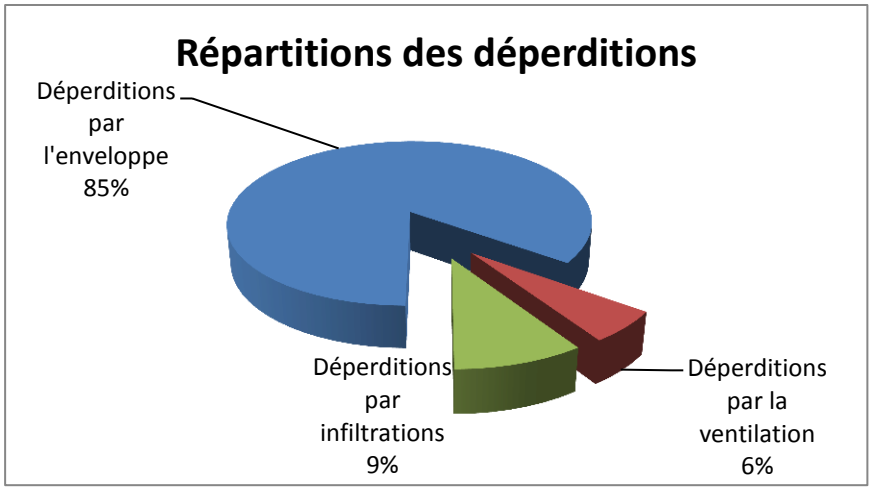
-en assistant à un test d'étanchéité sur une maison ossature bois, effectué au stade où il est encore temps d'apporter des corrections, une fois l'ossature, l'isolation et le pare vapeur en place sans que les finitions intérieurs soit un gène à l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe.
-en assistant à une conférence sur l'étanchéité à l'air dans le cadre des 5 à 7 de l'éco construction à Feurs (près de St Etienne) organisée par Inter Foret Bois.

A) Le problème :

1) Déperditions (limiter les flux d'air subits) :

Dès lors que l'on parvient à isoler efficacement un bâtiment et que l'on diminue fortement les pertes thermiques dues à la ventilation par la mise en place de récupération de chaleur sur l'air extrait, la part des déperditions due aux infiltrations d'air n'est plus négligeable.

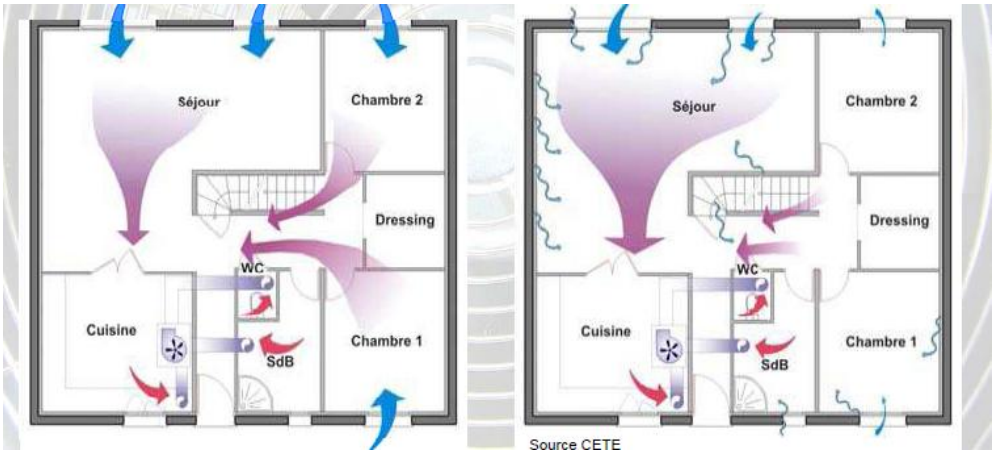
Dès lors que l'on s'intéresse à des maisons efficaces, il devient incontournable de prendre soin de diminuer ces défauts d'étanchéité. On ne pourrait atteindre 15 kWh/m².an de besoins de chauffage sans une bonne étanchéité et une limite est d'ailleurs fixée pour le label (N50 = 0.6 vol/h, explication à suivre). Dès lors que l'on maîtrise ces infiltrations, voilà leur part résiduelle dans les déperditions (résultats de la grange rénovée passive dans le projet de Ste Catherine, qui fait l'objet d'une fiche d'apprentissage) :


Répartitions des déperditions
Déperditions par l'enveloppe 85%
Déperditions par infiltrations 9%
Déperditions par la ventilation 6%

2) Impact sur la ventilation (maîtriser les flux d'air contrôlés) :

Les défauts d'étanchéité sont également à l'origine de **dysfonctionnement du système de ventilation** puisque l'air entre et sort n'importe où au lieu d'assurer le balayage complet du logement prévu par les concepteurs (dans l'ordre croissant de pollution de la zone, des chambres et séjour vers salles de bain, WC et cuisine).

On a donc également un **impact sur la qualité de l'air**. Sur l'image ci-dessous, du fait de la présence de fuite, l'air des chambres 1 et 2 n'est quasiment pas renouvelé :



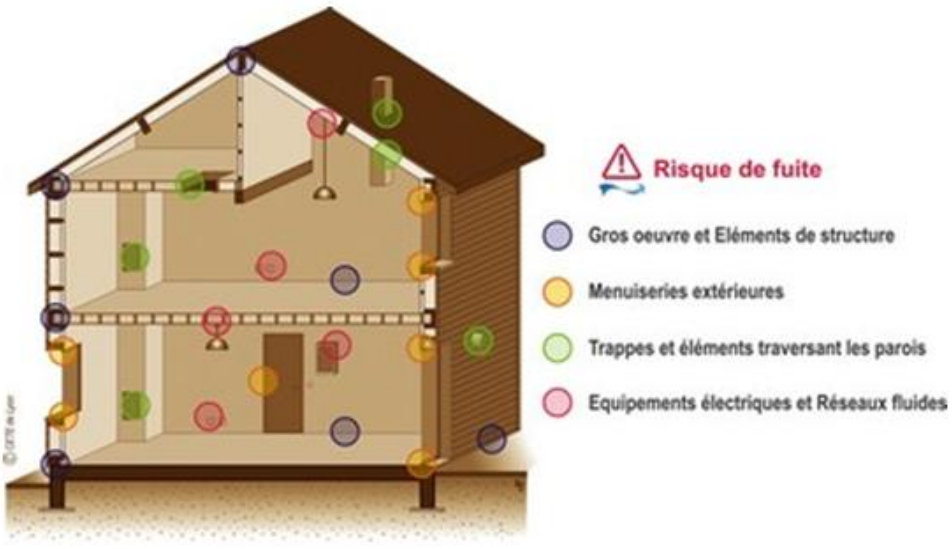
Source CETE

L'air emprunte le chemin le plus simple et le débit extrait est principalement constitué par l'air fourni au séjour par les dispositifs prévus à cet effet et par les nombreuses infiltrations non prévues.

3) Origine du problème :

Les parois d'un bâtiment sont soumises à des différences de pression qui peuvent créer des transferts d'air non souhaités entre l'extérieur et l'intérieur dès lors qu'une quelconque ouverture est disponible.

Ces ouvertures sont le résultat d'une mise en œuvre approximative lors de la pose des fenêtres, lors du passage des câbles et tuyaux à travers l'enveloppe, lors de l'application d'un enduit ou encore lors de la mise en place du pare vapeur. On trouve souvent un défaut au niveau des prises électriques également.


Risque de fuite
Gros oeuvre et Eléments de structure
Menuiseries extérieures
Trappes et éléments traversant les parois
Equipements électriques et Réseaux fluides
crédit schéma : CETE de Lyon

B) Test d'étanchéité :

1) Matériel :

-La porte soufflante :

On a une membrane étanche et un ventilateur qui permettra de placer la maison en surpression ou en dépression.

-Le fumigène :

Lorsque l'on est en surpression, enfumer le bâtiment peut-être le moyen de constater depuis l'extérieur les zones de fuite.

-La caméra thermique :

Permet de repérer les points froids, correspondant souvent aux ponts thermiques mais aussi aux lieux des infiltrations.

-La poire à fumée :

Permet d'observer les mouvements d'air au voisinage d'une fuite supposée ou repérée (avec une caméra thermique ou à la main lorsque le courant d'air est sensible)

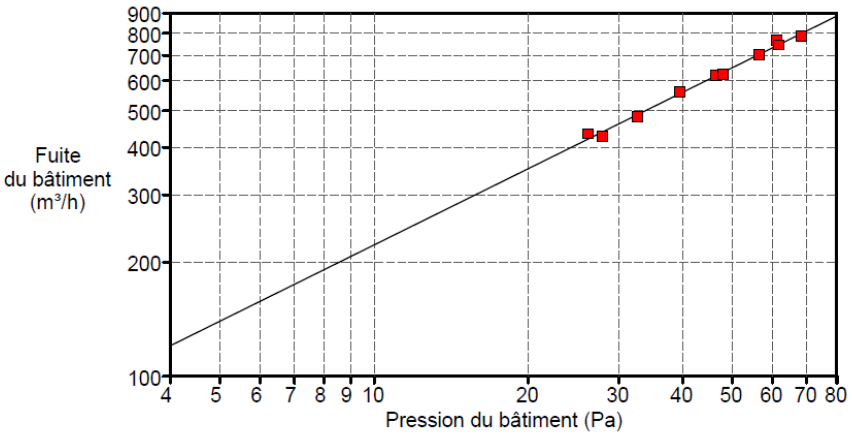
2) Procédure :

On installe la porte soufflante et on bouche les sources d'arrivée d'air qui ne sont pas étanche au moment du test mais qui le seront après. On remplie donc les gaines d'arrivée et de sortie de la ventilation double flux, on scotch les bouches d'aération , on scotch les trous dans les portes qui accueilleront les poignées, on remplie les siphons et on obstrue les tuyauteries. On laissera libre les orifices de ventilation naturelle.

On lance ensuite la mesure, tandis que **le ventilateur met en surpression ou en dépression** (créé un ΔP entre l'intérieur et l'extérieur) le bâtiment, le débit et le ΔP sont mesurés de sorte d'avoir suffisamment de mesure pour obtenir la courbe
Q (m^3/h) = F (ΔP (Pa)).

3) Résultats :

On obtient donc la courbe **Q (m^3/h) = F (ΔP (Pa))** qui est une droite dans un repère logarithmique :



Sont également évaluées les données suivantes :

-surface équivalente de fuite : Al (cm²) : surface d'un orifice à bord vif, débitant sous un gradient de pression défini, le même volume horaire que l'ensemble des zones de fuite d'un bâtiment.
-Coefficient de débit d'air Cenv et de fuite d'air CL en m^3/h/Pa^n ainsi que l'exposant du débit d'air n (compris entre 0.5 et 1) : Données de la loi d'écoulement qui pourront être utilisées sous Energy Plus.
-Coefficient de corrélation permettant d'évaluer la confiance de la mesure.

Intéressons nous uniquement ici aux données exploitables de la courbe. Deux indicateurs de l'étanchéité à l'air sont systématiquement utilisés pour caractériser les performances d'un bâtiment : le n50 et le Q4Pa-Surf (anciennement I4). Voici comment ces indicateurs sont calculés :

$$n50 = \frac{\textbf{Débit de fuite}}{\textbf{Volume du bâtiment}} \qquad [\frac{vol}{h}]$$

$$Q4Pa - Surf = \frac{\textbf{débit de fuite}}{\textbf{surface de l'enveloppe donnant sur l'extérieur (plancher non compris)}} \qquad [\frac{\frac{m^3}{h}}{m^2}]$$

On devine alors qu'il existe un lien entre le n50 et le Q4Pa-Surf et que ce lien va faire intervenir la compacité et la pente de la droite. Après réflexion on obtient :

$$n50 = e^{\textbf{pente de la droite}} \frac{I4}{\textbf{Compacité} \left(= \frac{\textbf{volume}}{\textbf{surface déperditives hors plancher}}\right)}$$

Le Q4Pa-Surf est une particularité du système français qui est théorique car non mesurable. On fait une extrapolation (on poursuit la droite) pour connaître la valeur du débit de fuite pour un si faible gradient de pression.

4) Valeurs cibles :

Donnons ici quelques valeurs reliant des bâtiments efficaces à leurs n50 et Q4Pa-Surf. Voici ce qu'imposent les labels :

Valeurs cibles $Q_{4\ Pa\text{-}surf}$ (appelée également I_4) de la RT 2005

Usages	Par défaut	Valeurs justifiées	Valeurs Label BBC-Effinergie EN NEUF	Valeurs Label BBC-Effinergie EN RENOVATION	Référence Label Passiv'Haus
Maison	< 1,3	< 0,8	< 0,6	< 0,8	< 0,16
Logements collectifs	< 1,7	< 1,2	< 1	< 1,3	< 0,23
Bureaux, hôtels, restauration enseignement, petits commerces, établissement sanitaires	< 1,7	< 1,2	< 1,2	Non définie	< 0,23
Autres Usages	< 3	< 2,5	< 2,5	Non définie	

Pour le passif, la valeur figurant dans les critères est celle du **n50 correspondant à la valeur 0.16 pour le Q4Pa-Surf : n50 < 0.6 vol/h.**

La valeur du Q4Pa-Surf correspondant à une maison BBC correspond après calcul à un n50 de 2.23 (compacité moyenne considérée)

Donnons également quelques valeurs de surfaces équivalentes de fuite AL :

-pour Q4Pa-Surf = 0.6, on a une surface équivalente de fuite AL = 211 cm², soit un trou circulaire d'un diamètre de 16 cm
-pour un Q4Pa-Surf = 0.16, AL = 56 cm², soit un trou circulaire de 4.2 cm de diamètre.

Autres valeurs intéressantes concernant les conséquences sur les consommations énergétiques :
-entre 2 et 5 kWh/m²/an par unité de n50
-entre 5 et 10 kWh/m²/an par unité de Q4Pa-Surf

C) Les solutions :

1) Matériel :

De nombreux systèmes visent à assurer l'étanchéité à l'air des bâtiments. Voici ceux que j'ai pu croiser, notamment pour des maisons à ossature bois, (les 2 premières illustrations sont issues de mes photos).

-Pare Vapeur :

Un pare vapeur est une membrane imperméable à l'air, au vent et à l'eau mais qui permet et contrôle l'évacuation de la vapeur d'eau. On pourra par exemple l'utiliser avec une ossature bois et souffler l'isolant (ex : ouate de cellulose) derrière cette membrane, sans oublier de refermer les trous de soufflage avec un scotch spécial (membrane adhésive).

-L'OSB (Oriented Strand Board):

Il se présente sous la forme de panneaux de 6 à 25 mm d'épaisseur, composés de copeaux de bois orientés dans des directions spécifiques, et collés ensemble par une résine. Une enveloppe correctement réalisée en OSB est étanche à l'air (nécessite le recours à une membrane adhésive pour les jointures).

-Membrane adhésive :

Cette membrane apparait sur la photo utilisée pour décrire le pare vapeur comme une bande noire qui sert à faire la liaison entre les éléments de l'ossature et le pare vapeur ainsi qu'entre 2 morceaux de pare vapeur.

-Les joints en mousse expansive :

Intervenant lors de la pose des menuiseries il s'agit alors d'un rouleau de joint, compressé initialement, et adhésif sur une face. Une fois un film plastique retiré, la mousse s'étend offrant des propriétés d'étanchéité à l'air et à la pluie, une perméabilité régulée à la vapeur d'eau, une isolation thermique et phonique.

-Parfois c'est un enduit qui sera en charge de l'étanchéité à l'air.
-des manchons seront utilisés autour des câbles et tuyaux aux traversées de parois.

2) Mise en œuvre :

Il convient de prendre les décisions quant aux solutions d'étanchéité en amont du chantier, à l'heure du dessin de plan afin par exemple de tracer en continu l'enveloppe étanche du bâtiment.

On veillera à rassembler les zones où les réseaux électrique et hydraulique pénètrent l'enveloppe afin d'avoir un minimum de trous à étanchéifier.

Une principale difficulté réside dans la sensibilisation des différents corps d'état en charge de la réalisation du chantier. Ces derniers devront être formés et coordonnés afin de ne pas commettre d'erreur compromettant irrémédiablement l'étanchéité du bâtiment.

Rappel : On fera un test d'étanchéité en cours de chantier afin de pouvoir corriger les défauts constatés.

Fiche Visite : CONCOURS POUR L'OBTENTION D'UN PROJET :

Projet PF232 : La **communauté de Commune du pays Mornantais (COPAMO)** veut créer sur un terrain, situé à Sainte Catherine et dont elle est propriétaire, un **hameau d'entreprises** afin de favoriser le partenariat entre les différents acteurs de son territoire et créer un pôle d'attractivité visant à redynamiser les villages.

Le hameau en question fait ici l'objet d'**une consultation**, à laquelle vont répondre des équipes d'architectes et d'ingénieurs. L'architecte se place au centre du projet comme coordinateur et va disposer d'un certain délai pour faire une offre anonyme à destination d'un jury. Cette offre aura pour but de répondre à un programme réalisé par le **CAUE (Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement) du Rhône** pour la Communauté de Commune. Le bureau d'étude HELIASOL a donc été contacté par **l'architecte Romain FROMENT** pour assurer l'étude thermique et proposer des solutions de chauffage basées sur les propositions et choix structurels réalisés en amont par l'architecte.

J'ai pour ma part pu assister à différentes étapes du projet, une expérience très intéressante que je souhaite décrire ici.

A) Description du concours, PHASE 1 (Vendredi 13 Mai 2011 :

Direction Sainte Catherine pour la matinée où une réunion des différents candidats est organisée par les élus locaux et par le CAUE, chargé de la rédaction du programme. La réunion est principalement destinée aux architectes mais d'autres membres des équipes concurrentes sont également présents pour assister à une discussion qui va permettre de repréciser certains points du programme, du règlement du concours et proposer quelques aménagements de ces derniers.

Avant la réunion et pendant celle-ci, il s'agit pour moi de constater quels sont les points du programme qui ont attirés l'attention des architectes et ceux sur lesquels la communauté de communes souhaite insister. Avant de décrire le déroulement de cette matinée il est donc nécessaire de donner brièvement quelques points du programme.

1) Le Programme :

Aspects liés à l'architecture :

Le projet comprend la **rénovation d'une ancienne grange** et l'utilisation d'un terrain de 7760 m² afin d'accueillir 8 **locaux d'activités de 250 m² divisibles en deux** unités de base égales de 125 m² et **10 bureaux de 50m² divisibles en deux** unités de base de 25m².

Chaque local d'activités devra être muni d'un espace administratif de 25m², proposer une hauteur moyenne de 5.5m, une porte sectionnelle de 3.5m de haut et un espace intérieur aménageable en demi-niveaux.

Les 10 modules de bureaux pourront être organisés en plusieurs unités de bureaux et services avec une hauteur moyenne de 2.5m.

Les espaces communs, seront positionnés dans le bâtiment existant ou dans un endroit stratégique et devront comprendre un sas d'accueil de 25m², une salle de réunions de 25m², une salle « polyvalente » de 25 m² pour la restauration libre des utilisateurs, un ensemble

sanitaire mutualisé pour 100 à 200m² de bureaux et des locaux techniques (local chaudière, local ménage…).

L'ensemble des bâtiments devra être **accessible aux handicapés**.

Les travaux s'effectueront en deux temps, la première tranche devra comprendre la rénovation de la grange, la construction de tous les bureaux et de la moitié des ateliers.

L'accent est mis sur **l'intégration paysagère du hameau** selon le thème bien particulier du village (maison en briques de couleurs chaudes). Le rendu devra comprendre **une vue depuis la route RD2** longeant le hameau au Nord et constituant un axe particulièrement emprunté. « L'arrière » du hameau ne devra pas être négligé non plus en vue de la valorisation des berges du cours d'eau qui délimite le terrain.

Le nombre de places de parking à prévoir est estimé à 67..

Particularités liées à l'aspect thermique du Bâtiment :

Le bâtiment sera réalisé dans l'optique d'atteinte des **performances BBC** par une isolation efficace, une valorisation des apports solaires, une gestion efficace de la ventilation (la ventilation double flux est évoquée dans le texte et il est rappelé la logique de circulation de l'air par ordre croissant de pollution des pièces) et on prendra soin de garantir le confort d'été par des dispositifs occultants.

Il sera nécessaire, vu l'usage, de prendre en compte les aspects de **performances visuelles et de bien-être**.

Les consignes de température ont été fixées **pour les bureaux à 19/20°C, et à 16/18°C pour les ateliers**.

Les matériaux seront choisis en fonction de leurs performances énergétiques et de leur impact écologique. On préfèrera des **solutions locales** avec des possibilités d'approvisionnement à proximité ainsi que des matériaux non générateur de substances chimiques nocives et de polluants fibreux.

Règlement de la consultation :

A ce stade de la compétition les équipes doivent fournir les pièces suivantes :

- Le projet d'Acte d'Engagement et ses annexes, complété et signé,
- Le projet de Cahier des Clauses Administratives Particulières, complété et signé,
- Le rappel de la composition de l'équipe, avec, pour chaque cotraitant, la description de la mission à réaliser et la répartition financière.

Au 13 Mai 2011, l'équipe dont fait partie HELIASOL est retenue pour la compétition et participent donc à cette première réunion de je vais tacher de décrire les principaux enjeux.

2) La Réunion :

Les questions des différentes équipes présentes sont destinées aux représentants de la communauté de commune du pays Mornantais et au représentant du CAUE (Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement) du Rhône qui a rédigé le programme.

Ces questions concernent divers sujets comme :

-la **zone inondable**, dite non aedificandi (non constructible) et ses dimensions réelles, cette zone est une réelle limite à la construction.

-un **bassin de rétention des eaux de pluie**, nécessaire dès lors que l'on se retrouve à bétonner un aire importante. L'eau, qui avant pénétrait dans le sol et était évacuée par le ruisseau progressivement, ne pourrait être rejeté directement, après écoulement sur le béton sans qu'il apparaisse des risques d'inondation.

-l'usage de ces locaux d'activités. Des précisions sur ces sujets sont en effet nécessaires au travail de l'architecte. La réponse : menuiserie, fleuriste, TPE, cosmétique, médecin, garagiste souligne en effet l'importance de ma modularité des locaux. Un point à relever dans cette réponse est l'apparition d'**activités commerciales** pouvant justifiée l'existence de vitrine donnant sur la rue.

Les équipes réclament des modifications au programme et au règlement. Le délai de retour des propositions est ré estimé. Les équipes réclament également le droit de pouvoir rendre deux planches A1 de plan et schéma au lieu d'une. En effet, tandis que la commune insiste pour disposer d'une vue du projet depuis la rue, lieu des contraintes esthétiques liées à l'intégration du hameau au paysage du village, il semble difficile de faire figurer cette vue et les différents plans, nécessaires à la description du projet, sur une unique feuille A1.

Les préoccupations des différents bureaux apparaissent clairement. Tout le monde a compris les enjeux de cette intégration paysagère, de l'utilisation de ressources locales et tout le monde semble voir une difficulté dans la consigne du nombre de places de parking, compte tenu de l'espace disponible.

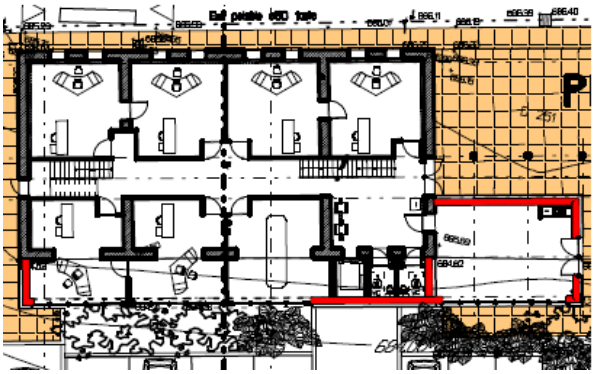
Dans une seconde partie, le groupe quitte la salle de réunion pour une visite sur site. On parcourt les limites du terrain, on visite la grange à rénover et de nombreuses photos sont prises. La plupart de ces photos sont d'ailleurs prises depuis le point de vue de la route qui devra faire l'objet d'un dessin sur la planche pour prouver l'intégration paysagère.

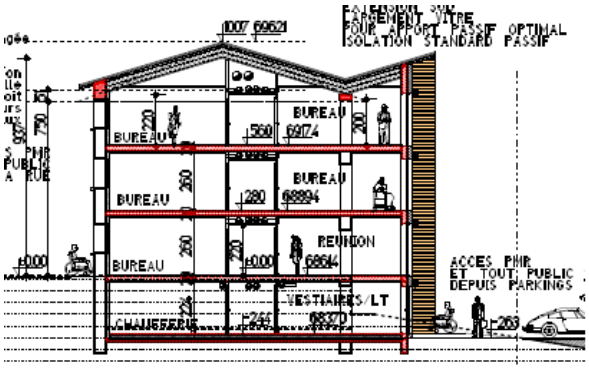
B) Naissance d'une proposition : PHASE 2 (Lundi 14 Juin 2011) :

L'équipe complète pour laquelle Franck est le thermicien se regroupe une semaine avant le délai fixé pour le retour des propositions. A ce stade la majorité du travail a été la charge de l'architecte et j'ai beaucoup apprécié pouvoir découvrir les réponses que Romain FROMENT a pu apporter aux programmes que j'avais découvert un mois plus tôt.

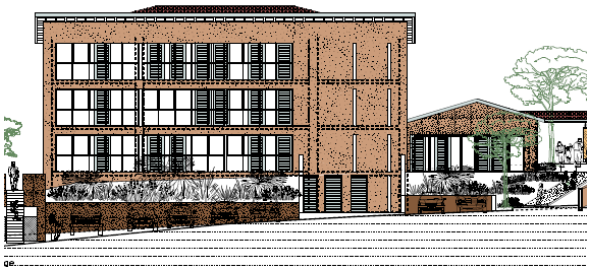
1) Les réponses de l'architecte :

L'ensemble des bureaux sera concentré dans la grange, rénovée et agrandie tandis que les ateliers correspondront aux nouveaux bâtiments à construire. Voici différentes vues de la grange sur lesquelles on distingue clairement la partie supplémentaire.



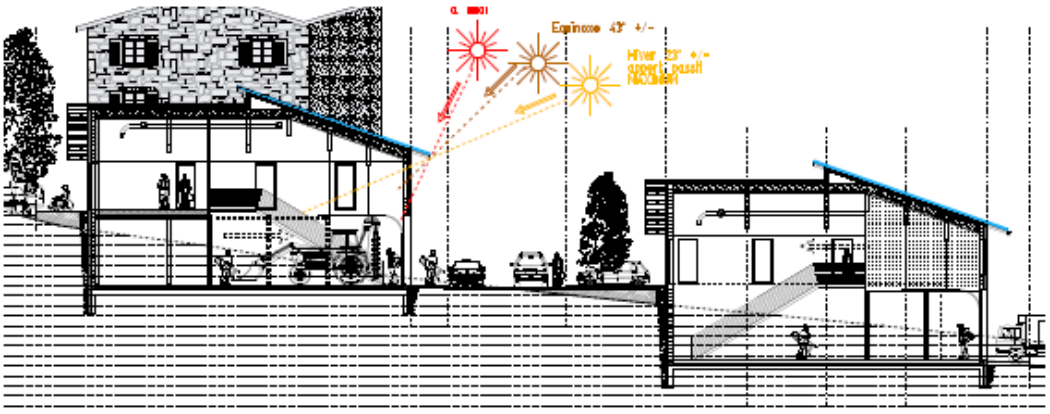


On aura 7 demi-bureaux pour les deux premiers étages et 6 pour le 3ème, soit 20 demi-bureaux répondant à la consigne de 10 bureaux divisibles en 2. L'espace restant sera réservé à chaque étage à un hall d'accueil/ salle à café.

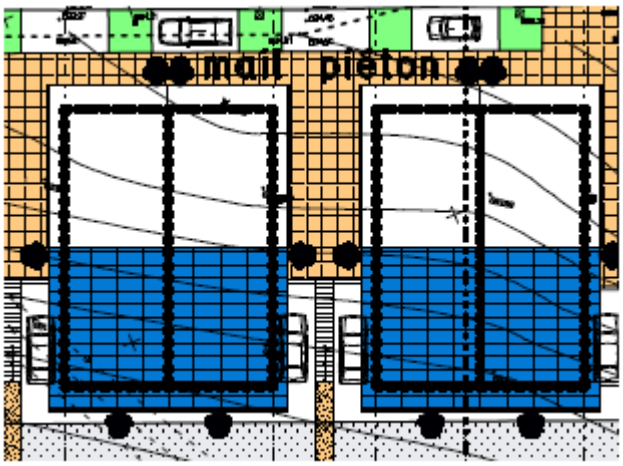


On constate qu'une salle supplémentaire est aménagée à côté de la grange en guise de salle polyvalente/restauration.

Pour ce qui est des ateliers qui devront être divisibles en 2 également avec deux espaces administratifs, voici la proposition :



L'architecte a su utiliser la pente à son avantage, offrant ainsi un accès handicapé à la fois au garage (par en bas) et à l'espace administratif (par en haut).

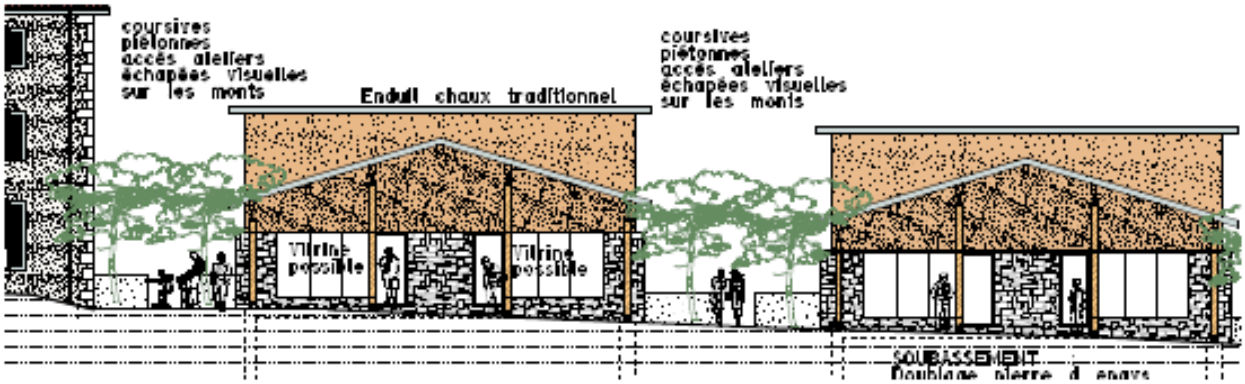


Les locaux seront divisibles selon leur longueur et des emplacements voiture sont prévus régulièrement.

Chaque demi atelier pourra être conçu en sens inverse de l'autre (hauteur de plafond haute vers le sud et espace administratif vers le Nord pour l'un, le contraire pour l'autre).

Dans le cas où l'espace avec une hauteur de plafond à 5m est vers le Sud, l'entrée se fera dans la direction normale à cette image. Si l'autre demi bureau est dans le sens inverse un accès à l'espace haut se fera sur le côté.

Pour ce qui est de la vue depuis la route :



L'architecte a prévu la présence de vitrines possible donnant sur la rue et un muret « en créneau » constitué des mêmes briques que le reste du village sera rajouté pour rappeler le thème de couleur.

2) La réunion :

Cette réunion a pour but de présenter le travail de l'architecte aux autres membres de l'équipe. Elle se fait en présence du bureau d'étude fluide (gaz, électricité, téléphone), de l'expert-comptable du projet, et d'HELIASOL. Le responsable des études de structure est absent. Après avoir découvert les plans, l'équipe discute notamment des solutions de chauffage, et surtout de la répartition de l'indemnisation financière en cas de refus du dossier.

Voici quelques sujets abordés :
-revoir la distance réglementaire aux lignes HT nécessaire à la sécurité des travaux.
-utilisation de géocooling avec un puits canadien hydraulique mis en place en même temps que les fondations et relié à la ventilation double flux pour rafraîchir en été des locaux chauffés par l'informatique (air soufflé à 18°C).
-incitation à baisser la température des ateliers fixées à 16/18°C qui pourrait être inutile selon l'utilisation du local.
-chaudière gaz, individuelle pour les ateliers ? Collective pour les bureaux ?
-L'isolation thermique des ateliers devra être extérieur pour permettre la modulabilité.
-terrassement et VRD inclus ou non dans le budget programmé ? (difficile à respecter si inclus)
-proposition de certification passive ? À inclure dans le budget si on veut la proposer.
-en comptant 2600 m² de surface utile + 5% de réservation pour la circulation on arrive à 2730m² pour un budget estimé de 2900000, soit 1062€/m²

Je n'ai malheureusement pas eu l'occasion de connaître les réponses à toutes ces interrogations mais le travail de Franck, qui a suivi cette réunion, et est allé rejoindre le dossier à déposer a été mis à ma disposition et répond à quelques interrogations. En voici un résumé :

3) Etude Thermique du dossier de candidature :

Voici un résumé de la "notice thermique" réalisée par Franck JANIN pour être jointe à l'offre de l'équipe. Comme on l'a vu avec les plans proposés, les bureaux seront rassemblés dans le bâtiment rénové qui sera également agrandit. Ainsi tous les nouveaux bâtiments seront des ateliers et on distingue clairement deux types d'usages et donc deux études thermiques distinctes.

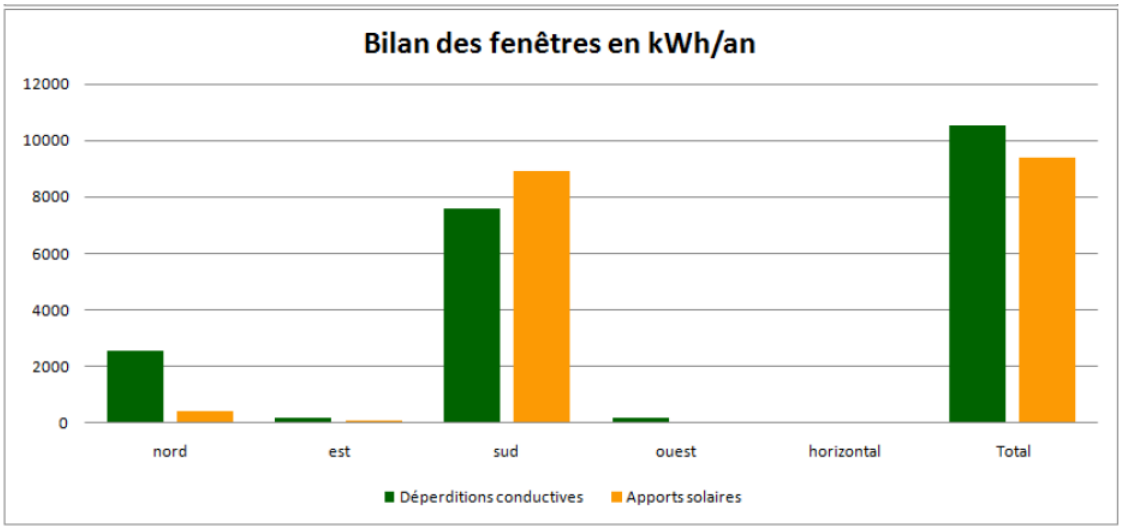
-Le bâtiment rénové :

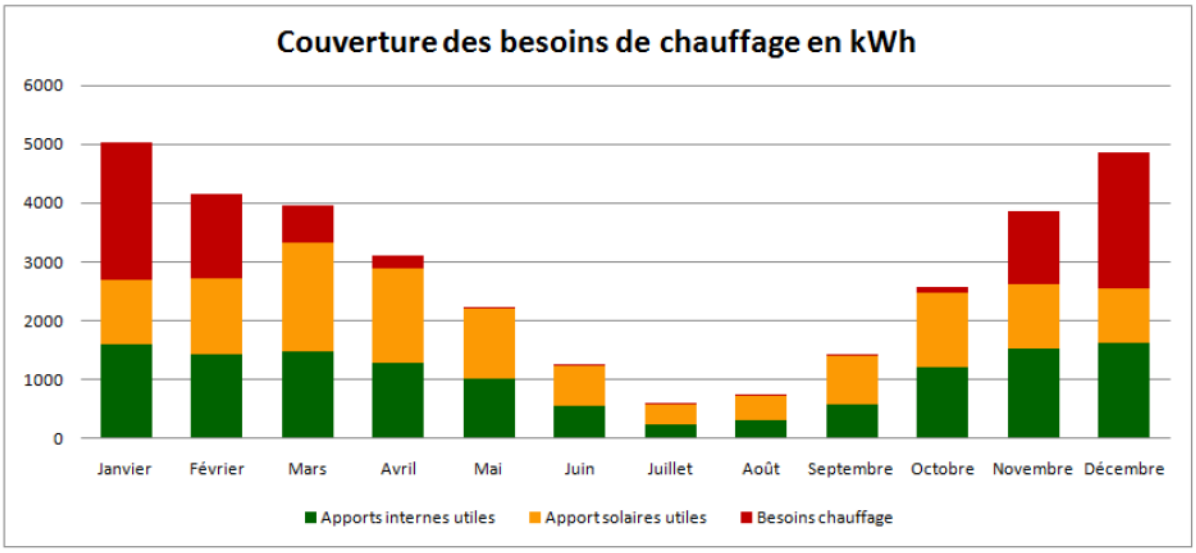
L'idée est d'atteindre les performances du passif sans pour autant que cela soit une contrainte forte puisque pour l'instant il s'agit d'une proposition et que la communauté de commune n'a jamais exprimé d'envie d'être certifié BBC ou passif. L'idée est simplement d'être convaincant en proposant de faire des économies avec des besoins de chauffage très faibles tout en garantissant un lieu de travail confortable.

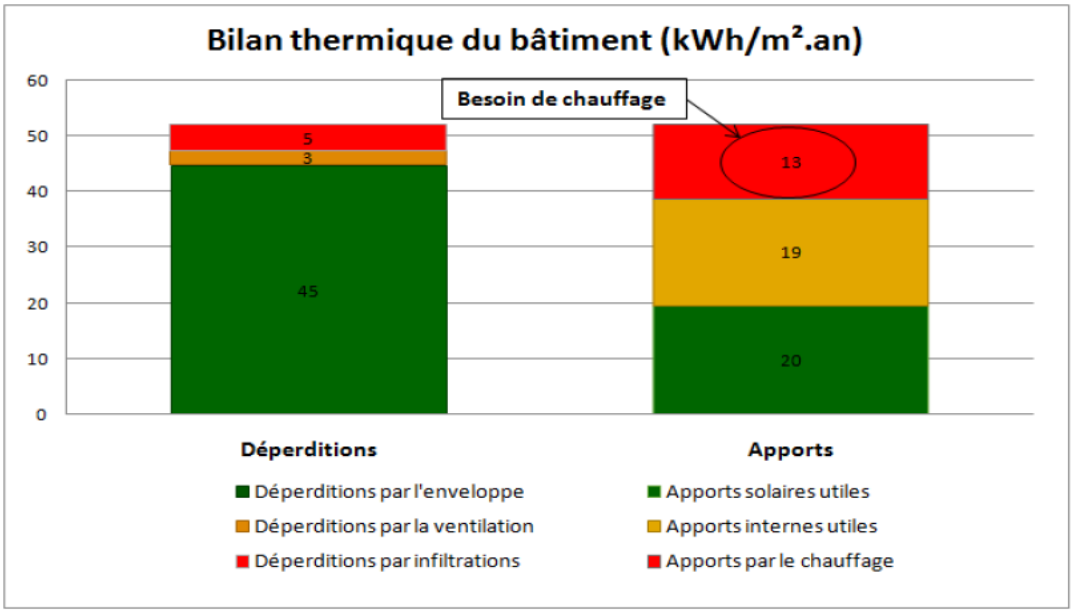
Ce chauffage serait assuré, en appoint de l'économie de chaleur réalisée avec une ventilation double flux ainsi que des apports gratuits (principalement solaires, humains et informatiques), par un réseau de radiateurs. La production de chaleur est assurée par une chaudière gaz à condensation, tirant partir du réseau de gaz présent proximité.

L'été, le confort est garantit par la limitation des apports solaires à l'aide de protection solaires fixes et mobiles (casquettes et stores). La ventilation double flux joue également un rôle crucial en étant couplée à un puits canadien hydraulique mis en place lors des travaux de terrassement. La nuit, cette ventilation double flux sera automatiquement by-passée afin de sur ventiler et de rafraichir avec un air extérieur particulièrement frais à cette altitude (700 m) pendant les heures d'inoccupation des locaux (pas de problèmes de bruits).

Après avoir fait un choix de matériaux pour l'isolation efficace de la grange, Franck a réalisé son étude thermique qu'il a joins en Annexe de la notice et dont voici quelques résultats :



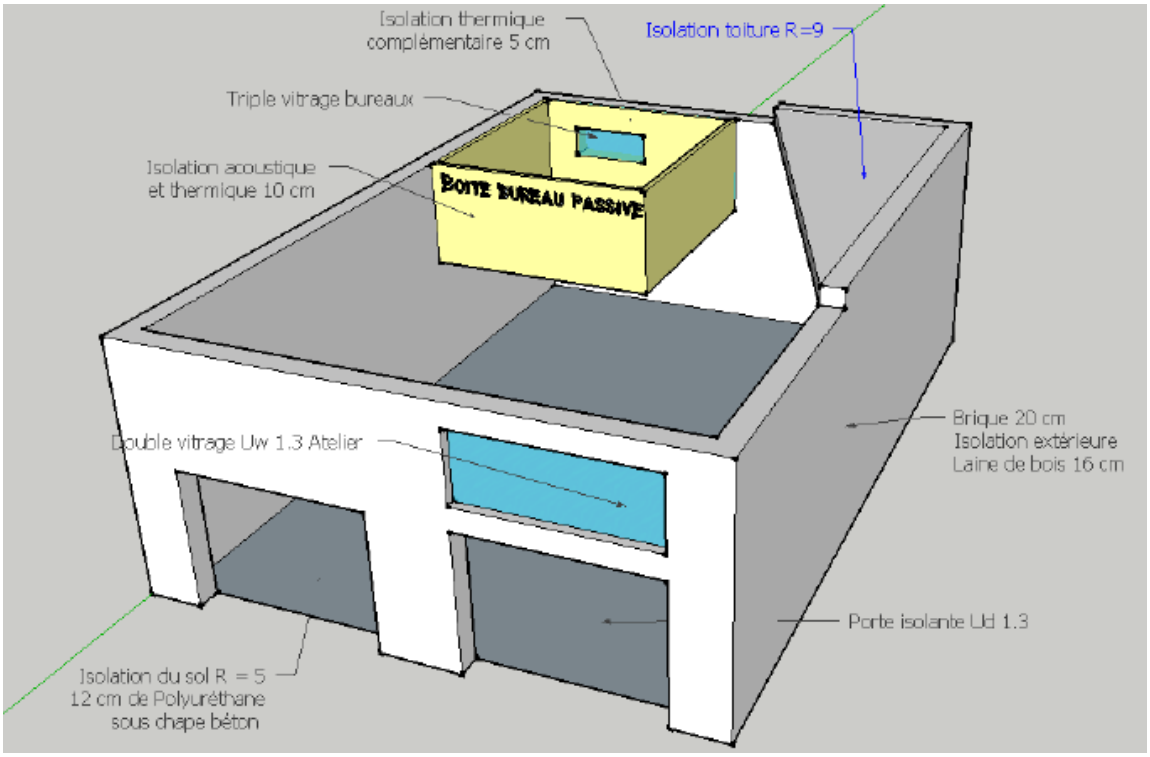




-Les ateliers/bureaux :

Bien que les ateliers fassent l'objet d'une consigne de température définie entre 16 et 18°C et donc prise à 17°C pour l'étude de Franck, il est nécessaire de garder en vue que cette consigne sera fonction de l'utilisation et que certains ateliers seront simplement maintenus hors gel pour une utilisation tel que le stockage. Il est donc nécessaire de distinguer deux espaces au sein de chaque atelier : l'atelier en lui même et la partie réservé aux taches administratives (bureau) qui devra disposer d'une isolation supplémentaire vis à vis du reste de l'ensemble afin de pouvoir être chauffée indépendamment du chauffage ou non de l'atelier.

L'idée sera donc de proposer une isolation de type BBC pour l'ensemble de l'atelier et de compléter cette isolation à un "niveau passif" pour l'espace bureau tel qu'illustré ci-dessous :



Les besoins de chauffage seront donc très faibles. La fonction de chauffage, complémentaire encore une fois à l'économie de chaleur réalisée avec une ventilation double flux et aux apports gratuits, est donc laissée à une Pompe à Chaleur qui produira 3 kWh de chauffage pour un kWh d'électricité consommé.

Le confort résulte de protections solaires au sud, de l'absence de vitrage sur les façades Est et Ouest, d'une isolation et inertie qui, couplées à une utilisation intelligente du bâtiment, permettront de garder le froid de la nuit, fournie à l'ensemble par la surventilation nocturne. On pourra également compter, aux besoins, sur la réversibilité de la Pompe à Chaleur.

Ces explications ne sont qu'un extrait mais permettent d'ores et déjà de se faire une idée de la charge de travail incombant à l'ingénieur thermicien à ce stade d'un tel projet.

Fiche Découverte : CONSTRUIRE EN BOIS ET PAILLE :

Ce document sera l'occasion de présenter mes découvertes sur la construction bois, faites à l'occasion de mes études sur des plans de maisons et faites sur le terrain tandis que je manipulais les bottes de pailles. Ce sera aussi l'occasion de finir ce rapport par quelques jolies photos prise à l'occasion de ces deux jours passés sur le chantier de Franck à Nantey dans le Jura.

Le but n'est donc pas d'être ici exhaustif mais simplement de mettre quelques idées sur papier et je finir agréablement ce rapport.

A) L'ossature bois :

1) En pratique :

-le plancher :

Le bois ne sera pas en contact avec le sol, l'humidité pourrait en effet remonter par capillarité. C'est pourquoi le recours au béton pour les fondations est une obligation. Parfois il s'agira d'une dalle béton complète :

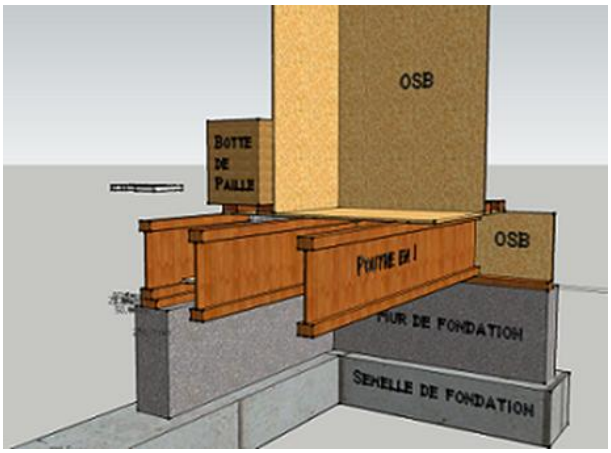
Tandis que pour la maison de Nantey, il s'agit simplement de mettre le plancher bois hors sol (une partie sera au dessus d'une cave tandis que l'autre sera sur vide sanitaire) :

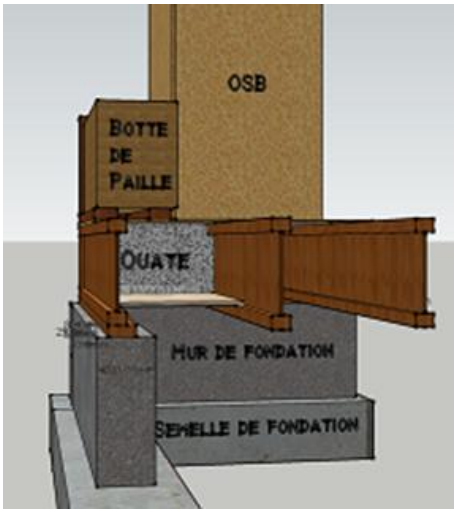
Sur une dalle pleine en béton on aura souvent une chape flottante reposant sur plusieurs centimètres de polystyrène ou de polyuréthane. Cependant l'impact de ces matériaux sur l'environnement est sujet à critique.

La solution choisie par Franck est plus écologique :

Il s'agira d'une poutre en I qui délimitera un espace "caisson" qui sera emplie de ouate de cellulose par la suite. Ce caisson, tandis qu'il est délimité par une simple planche en bas est délimité en haut par un OSB. Par dessus l'OSB Franck pense mettre une couche de sable pour l'inertie et finalement un plancher bois (par endroit un peu de carrelage).

Poutre en I au sol et vue en place depuis l'extérieur.



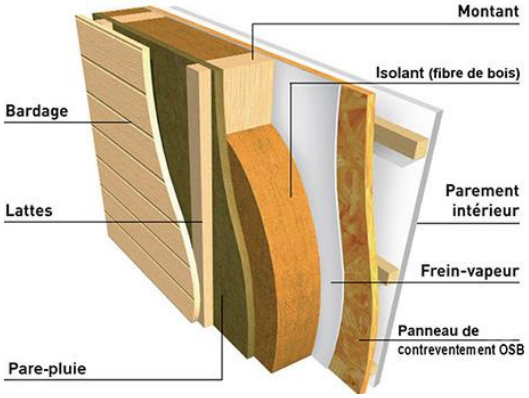


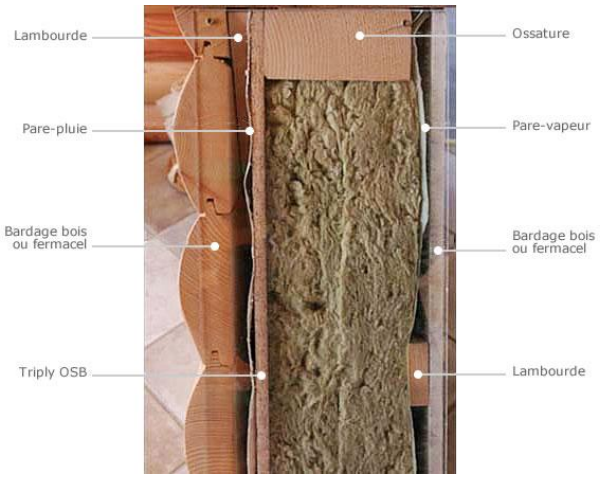
-les murs :

Le mur dans une ossature bois, que celle-ci serve à recevoir de la paille ou un remplissage à la ouate de cellulose, c'est d'abord des montants judicieusement espacés (particulièrement lorsque les dimensions doivent correspondre à des bottes de paille).

Les montants devront supportés la charpente et un contreventement devra être mis en place, à l'aide d'un OSB par exemple, afin de donner à l'ensemble la force de résister au vent.

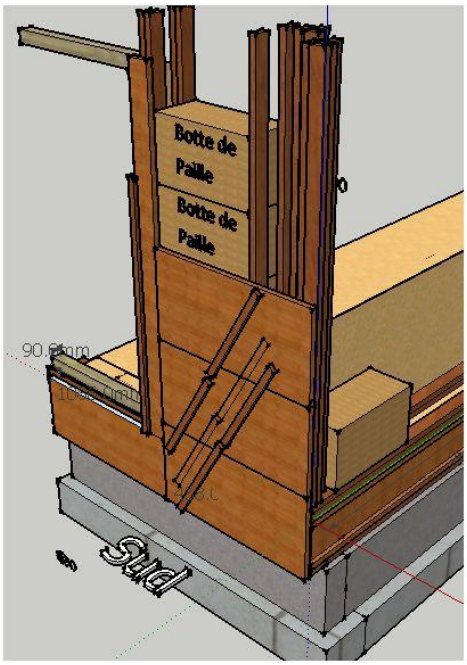
Voici un montage classique :





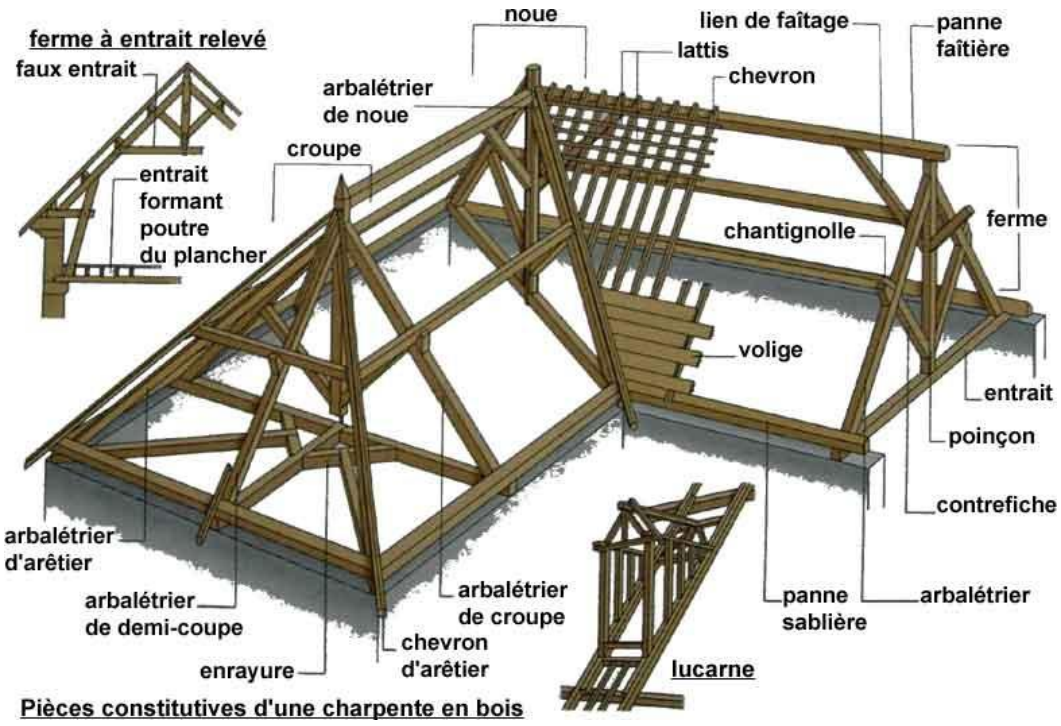
Dans le cas de Franck on aura de l'extérieur vers l'intérieur :

Bardage/Liteau/Pare Pluie/Panneau de Laine de Bois/Paille/OSB/Parement Intérieur BA13



-la charpente :

Le schéma suivant permet de comprendre le vocabulaire propre à la charpente et de faire face à des projets complexes:



Restons simple, dans notre cas, on aura faîtage, arbalétrier et contrefiche tel qu'illustré ci-dessous :

Il ne reste plus, à l'ensemble en place, qu'à recevoir le pare pluie puis les tuiles selon le schéma suivant :

1. Fermes qui soutiennent les pannes
2. Pannes (dont la panne sablière), qui soutiennent les chevrons
3. Chevrons qui soutiennent les liteaux
4. Liteaux qui soutiennent les éléments de la couverture
5. Eléments de couverture (tuiles, ardoises)

Les combles seront perdus, le plafond n'est pas destiné à recevoir quelque chose d'autre que le système de ventilation. Franck prévoit un faux plafond qui pourra recevoir les réseaux de ventilation et d'électricité. Au dessus de ce faux plafond : l'OSB qui supporte les bottes de paille.

2) Simulation Thermique :

La difficulté de la simulation thermique des maisons à ossature bois réside dans la considération des ponts thermiques intégrés dus aux montants pour les murs et aux chevrons pour le toit lorsque celui-ci suit la charpente.

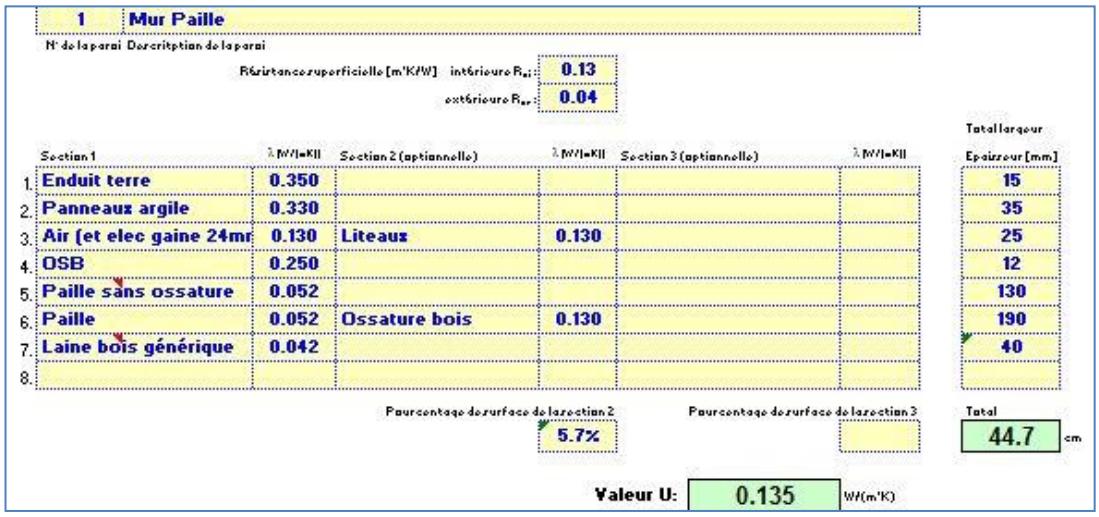
Il convient alors de dégrader les performances de l'enveloppe pour tenir compte des inhomogénéités.

-Sous Pléiades :

Rien de plus facile : on a recours à une composition multiple faisant intervenir, avec des pourcentages correctement calculés, deux compositions simples correspondant respectivement à la coupe en présence du montant/chevron et celle sans ce dernier.

-Sous PHPP :

L'image suivante de la saisie sous PHPP parle d'elle même :



1 Mur Paille

N° de la paroi | Description de la paroi

Résistance superficielle [m²K/W] intérieure R_{si}: 0.13

extérieure R_{se}: 0.04

	Section 1	λ [W/mK]	Section 2 (optionnelle)	λ [W/mK]	Section 3 (optionnelle)	λ [W/mK]	Total largeur Epaisseur [mm]
1.	Enduit terre	0.350					15
2.	Panneaux argile	0.330					35
3.	Air (et elec gaine 24mr	0.130	Liteaux	0.130			25
4.	OSB	0.250					12
5.	Paille sans ossature	0.052					130
6.	Paille	0.052	Ossature bois	0.130			190
7.	Laine bois générique	0.042					40
8.							

Pourcentage de surface de la section 2: 5.7%

Pourcentage de surface de la section 3:

Total: 44.7 cm

Valeur U: 0.135 W/(m²K)

-Sous Energy Plus :
On n'a d'autres choix que de se lancer dans le calcul d'une conductivité thermique équivalente pour la couche interrompue par la présence du montant/chevron, tenant compte de la fréquence du montant/chevron.

B) Le Chantier Paille :

1) Le matériel :

Voici, présenté par Jean Luc, l'ensemble du matériel que j'ai été amené à manipuler :

On voit sur cette photo les bottes de paille, la chaux qui va servir à protéger des insectes et rongeurs en créant un milieu basique, les panneaux de laine de bois, le pare pluie et la chènevotte de chanvre.

2) Les étapes :

Franck et Jean Luc avaient récolté ensemble la paille suffisamment en amont du chantier pour que celle-ci ait le temps de sécher. Quand je suis arrivé sur le chantier les blocs préfabriqués de l'ossature bois et la charpente avaient déjà été assemblés, l'enveloppe d'OSB des parois verticales était prête à recevoir la paille et notre travail consistait à établir des

consignes sur la procédure à adopter durant le chantier participatif organisé par Franck dans les semaines suivantes. Le pare pluie n'était pas en place et notre travail à été contrecarré par l'orage. Voici la procédure illustrée établie malgré ces conditions météorologiques pour la mise en place d'une façade :

On dispose de la chènevotte de chanvre dans l'espace créé par l'ossature :

On recherche une botte de la bonne taille (normalement c'est à peu près calibré). On dispose d'un caisson pour la mesure. On devra parfois ajuster en enlevant à la main quelque bruns de derrière la ficelle. Pour certains endroits particuliers il faudra complètement revoir la largeur de la paille, pour cela on fait passer 2 ficelles à travers la botte avec une grosse "aiguille" (on utilise un fer à béton et on prévoit 4 cm de longueur en plus environ) et on sert de sorte de récréer une botte plus courte, on coupe l'ancienne ficelle et on récupère le vrac de paille. On met un coup de pinceau de chaux sur le fond du caisson (sur l'OSB).

On met ensuite les premières bottes et on tasse avec masse et une cale en bois :

On met de la chaux sur le dessus de chaque botte. On vérifie si la paille ne dépasse pas de l'ossature. On comble les trous qui apparaissent au niveau de la ficelle avec de la paille torsadée.

On prend vite de la hauteur. On ferme ensuite le mur avec les panneaux de laine de bois :

On met ensuite en place le pare pluie par dessus la laine de bois, le côté écrit vers soi (car meilleur accroche du scotch). On fixe les liteaux au niveau des montants. Ces liteaux recevront plus tard le bardage bois.

3) Quelques photos :

L'ossature :

Livraison des tuiles et liteaux :

Mise en place de l'OSB au plafond :